



Pienjännitekatkaisijoiden säätö

Opinnäytetyö

Joonas Saarela

Opinnäytetyö
Toukokuu 2011
Sähkötekniikka
Talotekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Talotekniikan suuntautumisvaihtoehto

SAARELA, JOONAS: Pienjännitekatkaisijoiden säätö

Opinnäytetyö 57 s., liitteet 2 s.
Toukokuu 2011

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää pienjännitekatkaisijoiden releiden asettelua, jotta asentajilla ja suunnittelijoilla olisi katkaisijan käyttöönottilanteessa mahdollista tarkistaa sekä tehdä suojareleen asettelu itse.

Tavoitteena oli tehdä kattava kokonaisuus katkaisijan ominaisuuksista ja käytöstä, jolloin sekä katkaisijan asettelu että toiminta selviäisi niin suunnittelijoille kuin asennuksia tekeville henkilöillekin.

Tämän opinnäytteen tuloksena syntyi aineisto, josta selviää katkaisijan yleisimmät suojausasettelut, niiden arvojen laskentakaavat sekä selvitys tulosten käyttöä varten.

Työn tarkoituksena on toimia kirjallisena selvityksenä pienjännitepuolen katkaisijoiden käytöstä Puolustushallinnon Rakennuslaitoksen suunnittelijoille ja asentajille.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Science
Degree program in Electrical Engineering
Option of electrical building services engineering

SAARELA, JOONAS: Settings of Low voltage circuit breaker

Bachelor's Thesis 57 pages, appendices 2 pages.
May 2011

Starting point was to make instructions about safe mechanism's that moulded case circuit breakers (MCCB) has and how to tune those. The main aim was to make it for engineers and assemblers so it would be easier for them to work with MCCB's.

The goal was a wide instruction booklet about MCCB's, properties, where and why to use. Of course all related to problems that employers on field of electricity will have.

In a result, based on study about MCCB's was made a text and instructions booklet how to set, and use circuit breakers.

Key words Circuit breaker, MCCB, electrical engineering,

ALKUSANAT

Haluan kiittää Puolustushallinnon Rakennuslaitosta ja erityisesti sähköpäälikkö Aarne Saloa saamastani tuesta päättötyöni teossa. Työn tekemiseen innosti erityisesti aiheeni käytännönläheisyys. Pienjännitekatkaisijoiden suojarleiden asettelu on aiheena tärkeä, koska kyseistä yrityksestä puuttuu kirjallinen selvitys suojarleiden asettelusta. Opinnäytetyötä tehdessä minulle muodostui hyvä käsitys suojarleista sekä niiden asetteluiden tärkeydestä.

Joonas Saarela pvm ja paikka

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 SUOJAUSVAATIMUKSIA	8
3 SULAKKEETON SUOJAUS	10
3.1 Katkaisijan käyttö sulakkeen sijaan	10
3.2 Erot sulakkeelliseen järjestelmään	10
4 SELEKTIIVISYYS	12
4.1 Toiminta-aikakäyrät	12
4.2 Selektiivisyyden tarkastelu	13
5 OIKOSULKUVIRRAT	15
5.1 3-kolmivaiheisen oikosulkuvirran määrittäminen pienjännitepuolella	17
5.2 Oikosulkuvirran vaikutukset	18
5.2.1 Sähködynaamiset vaikutukset	18
5.2.2 Termiset vaikutukset	19
6 KATKAISIJA	20
6.1 Katkaisija tyypit	20
6.2 Katkaisijan mekaaninen toiminta	21
6.3 Katkaisijoihin liittyvät virtatermit	22
6.4 Katkaisukykyvirrat	22
6.4.1 I_{cu} katkaisijan rungon suurin oikosulun katkaisukykyvirta	23
6.4.2 I_{cs} käytönaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukykyvirta	24
6.4.3 I_{cm} nimellinen sulkemiskykyvirta	26
6.4.4 I_{cw} suurin sallittu tehollinen oikosulkuvirta	26
6.5 Sovelluskohteet	27
6.6 Katkaisijan virran- ja energianrajoitus	28
6.7 Pienjännitekatkaisijan suojaukset	31
6.7.1 Ylikuormitussuojaus L	32
6.7.2 Oikosulkusuojaus S/I	33
6.8 Nollajohtimen suojaus	34
6.9 Katkaisija kaapelin ylikuormitussuojana	35
6.10 Kaapelin oikosulkusuojaus	36

6.11 Suojareleiden asettelu	38
6.11.1 Ylikuormitussuojaus (L)	38
6.11.2 Selektiivinen oikosulkusuojaus (S).....	39
6.11.3 Säädetty oikosulun pikalaukaisu (I)	40
6.12 Katkaisija ja selektiivisyys.....	40
6.12.1 Virtaselektiivisyys.....	40
6.12.2 Aikaselektiivisyys.....	41
6.12.3 Vyöhykeselektiivisyys / lukitussuojaus	42
7 SOVELLUSESIMERKKI	44
7.1 Katkaisijan tehtävä sovellusesimerkissä	45
7.2 Katkaisijan suojareleen asetusarvot sovellusesimerkissä	47
8 HUOLTAMINEN	51
8.1 Katkaisijoiden huoltaminen	51
8.2 Toiminnan testaaminen	51
9 POHDINTA	52
LÄHTEET.....	54
LIITTEET.....	56

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä kirjallinen selvitys pienjännitekatkaisijoiden suojarleiden asettelusta sekä niiden toiminnasta. Aineistoa suunniteltiin käytettäväksi niin asennuspaikalla kuin suunnittelutyössä.

Opinnäytetyön lähtökohtana oli tehdä kirjallinen selvitys pienjännitekatkaisijoiden säädöistä, jolla voitaisiin ratkaista niitä ongelmia, joita asettelujen tekemättä jättäminen aiheuttaa. Aihe rajattiin siten, että vaatimuksena opinnäytetyön tekemiselle oli käsitellä sähköverkon sellaista osaa, jossa katkaisijaa käytettiin suojalaitteena. Toisena vaatimuksena oli, että katkaisijan täytyi olla varustettuna elektronisella suojarleellä. Tällöin suojausasetuksien asettaminen on monipuolisempaa, kuin esimerkiksi termomagneettisilla suojarleillä, joilla asetusarvojen säätömahdollisuus on rajoitetumpi.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pienjännitekompaktikatkaisijoiden toimintaan, suojarleiden asettelu arvojen asetteluun sekä huoltoon. Opinnäytetyössä käsitellään tarkemmin katkaisijaa ABB:n Tmax T5 630 S, joka on varustettu elektronisella suojarleellä PR221DS LS/I.

Työn tavoitteena on antaa tietoa sähköalan ammattilaisille katkaisijan toiminnasta sekä suojarleiden asetusarvojen asettamisesta.

2 SUOJAUSVAATIMUKSIA

Sähkölaitteistot on suunniteltava, rakennettava ja korjattava hyvän turvallisuusteknisen käytännön mukaisesti ottaen huomioon sähköturvallisuuslain 5 §:n 1 vaatimus turvallisuuden tasosta sekä täytettävä kauppaja- ja teollisuusministeriön päätöksen liitteenä olevat vaatimukset. (Suomen standardisoimisliitto, SFS 6000 2007, Kauppaja- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta 17.12.1999/1193, 43.)

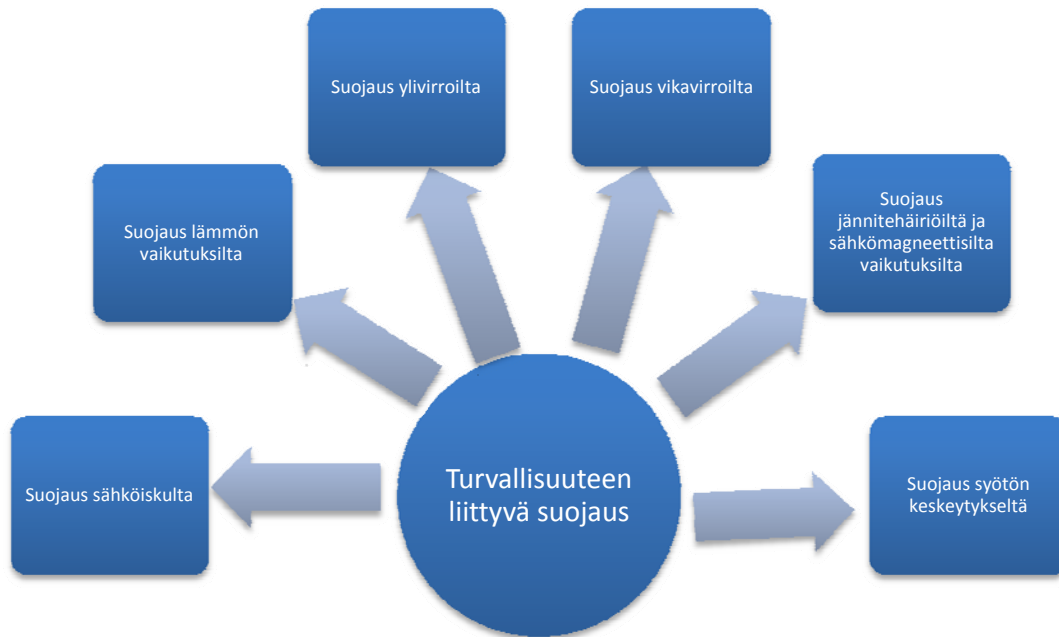
Velvoittavia standardeja sähköturvallisuudesta:

- SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset
- SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus

SFS-EN 61140 standardi määrittelee peruseräatteen sähköiskulta suojaamiseen. Standardin SFS-EN 61140 mukaan vaaralliset jännitteiset osat eivät saa olla kosketeltavissa, ja kosketeltavat johtavat osat eivät saa tulla vaarallisesti jännitteisiksi normaaliolosuhteissa eikä yhden vian olosuhteissa. (SFS 6000 2007, 121.)

Standardit edellyttävät laitteiston mitoittamista siten, että sen komponentit kestävät käyttöpaikassa esiintyvien oikosulkuvirtojen termiset ja dynaamiset vaikutukset.

Suojausvaatimuksia (kuvio 1) on esitelty SFS 6000 standardikokoelmassa. Näistä suojausmenetelmistä työssä käydään läpi lähinnä ylivirtasuojauksia sekä suojausta sähköiskulta.



Kuvio 1. Turvallisuuteen liittyviä suojausvaatimuksia. (SFS 6000 2007, 131.)

Standardit ja niiden osat, jotka käsittelevät sähköiskulta suojaamista, ovat tarkoitettu antamaan perusperiaatteet ja vaatimukset sähköiskulta suojaamiseen. Perusperiaate sähköiskulta suojaamisessa on, että vaaralliset jännitteiset osat eivät saa olla kosketeltavissa ja kosketeltavat johtavat osat eivät saa tulla vaarallisesti jännitteiseksi normaaliolosuhteissa ja yhden vian olosuhteissa. (SFS 6000 2007, 4-41.)

Suojaus sähköiskulta jaetaan perussuojaukseen sekä vikasuojaukseen. Perussuojaus tarkoittaa suojausta normaaliolosuhteissa ja vikasuojaus termiä käytetään yhden vian suojausmenetelmistä. (SFS 6000 2007, 121.)

Ylivirtasuojauksessa jännitteiset johtimet on suojattava ylikuormitukselta ja oikosululta yhdellä tai useammalla syötön automaattisesti poiskytkevällä suojalaitteella. (SFS 6000 2007, 431.1)

Suojalaite, joka suojaa sekä ylikuormitus- että oikosulkuvirroilta, voi olla ylikuormitussuojalla varustettu katkaisija. (SFS 6000 2007, 161.) Pienjännitekatkaisija, joka on varustettu elektronisella suojauslaiteella toteuttaa tämän.

3 SULAKKEETON SUOJAUS

Sulakkeettomasta suojauksesta puhuttaessa kiinteistön sähköverkon suojana on jokin muu laite kuin sulake. Yleisimmin käytetään johdonsuoja-, kompakti- tai ilmakatkaisijaa. Katkaisijan koko valitaan asennuskohteen ominaisuuksien mukaan.

Katkaisijoita käytetään sähköverkossa henkilö- ja palosuojaukseen samalla tavalla kuin sulakkeita. Ylikuorman, oikosulun tai muun vikatilanteen sattuessa katkaisijan releiden anturit havaitsevat vikatilanteen ja katkaisevat sähkönjakelun.

3.1 Katkaisijan käyttö sulakkeen sijaan

Katkaisijan käyttäminen suojana sulakkeen sijaan on perusteltua silloin, jos sulakkeen katkaisukäyrän ominaisuudet eivät riitä piirin suojauksen tarpeisiin. Katkaisijan toiminta-aikakäyrää voi muuttaa suojareleen asetuksia muuttamalla. Suojareleen asetusten muuttaminen mahdollistaa laajemman skaalan suojauksen toteuttamiseen.

3.2 Erot sulakkeelliseen järjestelmään

Katkaisijan käyttö sulakkeen sijasta riippuu kyseessä olevan piirin ominaisuuksista. Katkaisijan edut sulakkeisiin verrattuna ovat siinä, että katkaisijoita voi kauko-ohjata, käyttää uudestaan ja säätää verkon muutoksia vastaavaksi tietyissä rajoissa. Kun katkaisija katkaisee vikapiirin, sen voi kytkeä joko käsin tai automaattiohjauksella uudestaan päälle. Sulakkeiden palaessa se on aina manuaalisesti korvattava uudella. Katkaisijan kytkeminen päälle tapahtuu kääntämällä pääkytkin ”päälle” -asentoon ilman, että fyysisiä osia tarvitsee vaihtaa. Tällöin sulakkeen vaihtamiseen liittyvä riski katoaa.

Katkaisijan toiminta-aikakäyrää voidaan kokeilla usealla eri oikosulkuvirran arvolla ilman, että katkaisijaa tarvitsee vaihtaa. Sulakkeilla samaa koestusta tehtäessä sulake

täytyisi vaihtaa jokaisen kokeen jälkeen. Katkaisijan laukaisukäyrä ei muutu iän myötä verrattuna sulakkeen toiminta-aikakäyrään, joka “herkistyy” vanhetessaan.

Toiminta-aikakäyrä voidaan valita katkaisijalle sopivaksi kunkin kohteen mukaan. Katkaisijoille on tarjolla runsaasti lisävarusteita, joilla toiminta-aika käyriä voidaan muuttaa sekä suojauslisiä lisätä. Vastakohtaisesti sulakkeiden käytössä käytetään vain vakioaikakäyriä, jolloin suojausta ei voi asettaa kohteen tarpeiden mukaan. Katkaisijalla on vikatilanteessa kaikinapainen katkaisu, mikä sulakkeella ei yleensä ole mahdollinen.

Sulakkeellisen järjestelmän selektiivisyys on helppo toteuttaa. Selektiivisyys tarkoittaa, että lähinnä vikapaikkaa oleva suoja katkaisee vikavirran. Tähän viitataan tarkemmin luvussa 4. Nyrkkisääntönä on, että sulakkeellisen järjestelmän selektiivisyys saadaan kun kahden peräkkäisen sulakkeen arvojen välissä on yksi sulakekoko. Katkaisijoiden asettelussa on turvauduttava toiminta-aika taulukoihin. Katkaisijoita käytettäessä saadaan tarkempi selektiivisyys säätömahdollisuuksia hyödyntämällä.

4 SELEKTIIVISYYS

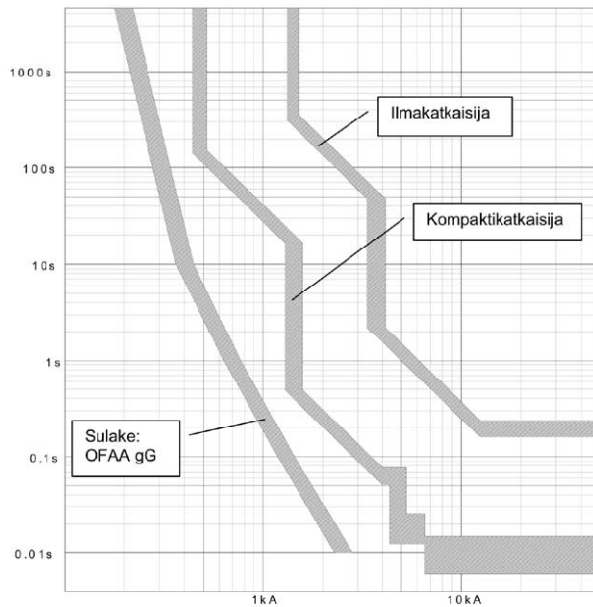
Kiinteistön jakeluverkon suojauksen selektiivisyys tarkoittaa sitä, että lähinnä vikapaikkaa oleva suoja laukeaa ensimmäisenä, jolloin vika rajoittuu mahdollisimman pienelle alueelle kiinteistön jakeluverkossa. Selektiiviseen toimintaan on helpointa ja edullisinta vaikuttaa suunnitteluvaiheessa. IDMTL-kuvaajat eli toiminta-aikakäyrät nousevat tärkeään asemaan selektiivisyyttä suunnitellessa.

Mitä lähempänä suojalaitteiden mitoitusvirrat I_n ovat toisiaan, sitä lähempänä niiden toiminta-aikakäyrät ovat toisiaan ja tällöin täyttää selektiivisyyttä on vaikea saavuttaa. Tällaisessa tilanteessa selektiivisyyden tarkasteluun tarvitaan toiminta-aikakäyriä, jotta selektiivisyyden säilyminen voidaan tarkastaa.

4.1 Toiminta-aikakäyrät

Toiminta-aikakäyrät (IDMTL-kuvaaja) on komponenttivalmistajien käyttämä kuvaaja, jolla nähdään suojareleiden virran katkaisuun kuluva aika virran eri arvoilla.

Kuviosta 2 nähdään sulakkeen, kompaktikatkaisijan sekä ilmakatkaisijan selektiivisyys toisiinsa nähden toiminta-aikakäyrän avulla. Tällä tavoin kuvaajia tulisikin vertailla, jotta saadaan mahdollisimman hyvä selektiivisyys sovelluksien suojaamisessa.



Kuvio 2: katkaisijoiden ja sulakkeen toiminta-aika käyrät (ST-kortti 53.13 2008, 5)

Toiminta-aikakäyrien tarkasteluun on olemassa katkaisinvalmistajan ABB:n tekemä ohjelma nimeltä DOCwin. DOCwin ohjelma on ABB:n kehittämä sähköverkkojen suunnitteluun ja laskentaan tarkoitettu ohjelma.

4.2 Selektiivisyyden tarkastelu

Kytkenän selektiivisyyttä tarkastellessa toiminta-aikakäyrien merkitys suunnittelun yhteydessä korostuu. Hakemalla kahden sarjassa olevan suojareleen sopivat asetteluarvot niin, etteivät toiminta-aikakäyrien viivat mene toistensa päälle saadaan aikaan selektiivisyys. Sen suojan kuvaaja, joka on lähempänä akseleita, toimii ensin. Kuvaajien mennessä päällekkäin, menetetään selektiivisyys ja molemmat suojat mahdollisesti laukeavat.

Selektiivisessä järjestelmässä pyritään vikatilanteen aikana säilyttämään mahdollisimman suuri osa piiristä toimintakykyisenä. Vaihtoehtoisesti voidaan pyrkiä suojaukseen, jossa suojat avustavat toisiaan toiminnallaan vikatilanteissa eli back-up suojaukseen. Back-up suojauksessa avustetaan etummaisien suojan avulla jälkimmäistä suojaa toimimaan suuremmilla oikosulkuvirroilla, kuin minkä jälkimmäinen suoja pystyisi katkaisemaan yksinään.

Katkaisijoita käyttäessä on suositeltavaa pysyä koko ajan yhden ja saman valmistajan tuotteissa, sillä valmistajat ovat velvoitettu kokeilemaan suojalaitteidensa selektiivisyyden omien järjestelmiensä kesken. Jos käytetään sekaisin eri valmistajien suojalaitteita, tällöin selektiivisyys tulee tarkastaa toiminta-aikakäyristä. Toiminta-aikakäyrät eri valmistajien kesken on vain suuntaa antavia. Pienjännitepuolen katkaisijat ovat harvemmin täysin selektiivisiä toisten katkaisijoiden kanssa.

5 OIKOSULKUVIRRAT

Oikosulut voidaan luokitella kolmi-, kaksi- tai yksivaiheisiksi. Oikosulut voivat esiintyä sekä maayhteydellä että ilman maayhteyttä. Virta I_k'' on nimeltään alkuoikosulkuvirta ja I_k ajanhetkeen $t=0$ redusoitu pysyvän tilan oikosulkuvirta.

Syöttävästä verkosta tunnetaan yleensä alkuoikosulkuvirta I_k'' tai näennäisalkuoikosulkuteho S_{kv}'' jonka avulla alkuoikosulkuvirta sekä syöttävän verkon impedanssi Z_{kv} voidaan laskea. (J.Partanen Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen 1998, 15)

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{kv}''} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{kv}}$$

jossa Z_{kv} = syöttävän verkon impedanssi, U_n = syöttävän verkon nimellispääjännite, S_{kv}'' = syöttävän verkon näennäinen alkuoikosulkuteho, c = jännitekerroin.

Oikosulkuvirta, joka kulkee piirissä, jossa kytkinlaitteet, katkaisijat tai sulakkeet eivät rajoita piirissä kulkevaa virtaa kutsutaan prospektiiviseksi oikosulkuvirraksi I_{sc} .

I_{sc} ilmoitetaan 3-vaiheisen oikosulkutilanteen tehollisarvona. Prospektiivisesta oikosulkuvirrasta lasketusta oikosulkuvirran huippuarvosta käytetään merkintää I_p .

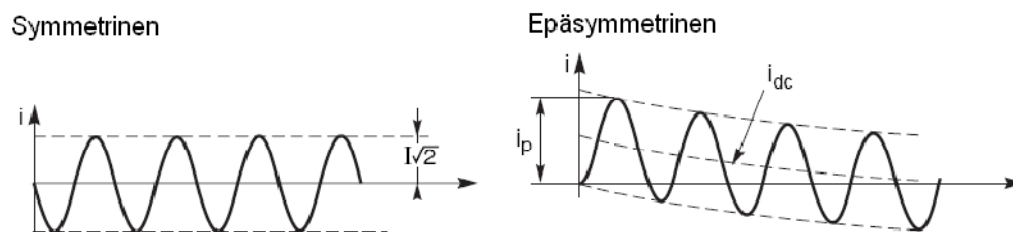
Oikosulun huippuarvolla tarkoitetaan alkutilanteen ensimmäisen huipun suuruutta, jossa epäsymmetria tapauksessa on mukana myös tasavirtakomponentti i_{dc} . Oikosulun alkutilanteessa virran huippuarvo voi teoriassa nousta ensimmäisen jakson aikana 2,3 kertaa suuremmaksi oikosulun jatkuvan tilan virran tehollisarvoon nähden, johtuen tasavirtakomponentin aiheuttamasta epäsymmetrisyydestä. (Schneider Electric, Discrimination with lv power circuit-breaker 2001,5.) Huippuvirran suuruus riippuu oikosulkupisteessä olevan resistanssin ja reaktanssin suhteesta.

Oikosulun syntyhetkellä on suuri vaikutus tasavirtakomponentin suuruuteen. Kun oikosulku tapahtuu hetkellä, jolloin oikosulkupiirin virran vaihekulman ja jännitteen

vaihekulman nollakohdasta laskettuna erotus on 0° tai 180° , ei tasavirtakomponenttia esiinny ollenkaan.

Tasavirtakomponentin arvo on suurimmillaan, kun oikosulku tapahtuu hetkellä, jolloin oikosulkupiirin virran vaihekulman ja jännitteen vaihekulman erotus on $\pm 90^\circ$. Tällöin tasavirtakomponentilla on suurin mahdollinen alkuarvo ja oikosulkuvirta on mahdollisimman epäsymmetrinen.

Tasavirtakomponentti i_{dc} aiheuttaa oikosulkuvirrassa epäsymmetriaa, joka on nähtävissä kuviosta 3. Tasavirtakomponentista johtuen oikosulkuvirta saa huippuarvonsa I_p :n. Oikosulun jatkuessa tasavirtakomponentti i_{dc} alkaa vaimentua ja oikosulkuvirta laskea kohti symmetrisen tilan oikosulku arvoa.



Kuvio 3. Oikosulkuvirta

Epäsymmetria tilanteen huippuarvo I_p on suuruudeltaan teoriassa $\sqrt{2} \cdot 2\sqrt{2}$ kertaa jatkuvan tilan oikosulkuvirta. Käytännössä suurimman huippuarvon $2\sqrt{2}$ saavuttaminen on mahdotonta, koska tämän arvon saavuttaminen vaatisi oikosulkupiirin, jossa ei olisi lainkaan resistanssia. Symmetriseen huippuarvoon $I/\sqrt{2}$ päästään silloin kun oikosulkupiirin resistanssi ja reaktanssin suhde on 1.

Huippuarvo lasketaan kaavasta:

$$I_p = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

jossa

I_p = oikosulkuvirran huippuarvo (A), k = kappa kerroin ”sysäyskerroin”,

I_k'' = alkuoikosulkuvirta

Suurjännite verkossa k on yleensä alle 1,8 ($r/x < 0,1$) ja pienjänniteverkoissa yleensä alle 1,44.

$$1,8 \cdot \sqrt{2} = 2,55 \approx 2,5$$

$$1,44 \cdot \sqrt{2} = 2,03 \approx 2,0$$

Jolloin oikosulkuvirran huippu arvoksi otetaan laskuissa yleensä:

$$I_p = 2,5 \cdot I_k'' \quad \text{yli 1000 V verkossa}$$

$$I_p = 2,0 \cdot I_k'' \quad \text{alle 1000 V verkossa}$$

Oikosulkuvirran suuruuden perusteella voidaan myös valita kappa kerroin (taulukko 1).

Taulukko 1. Kappa kerroin oikosulkuvirran perusteella (J.Partanen Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen, 1998)

I_k''/kA	kerroin k	$\cos\phi$
≤ 10	1,2	0,5
≤ 20	1,4	0,3
≤ 50	1,5	0,25
> 50	1,6	0,2

5.1 3-kolmivaiheisen oikosulkuvirran määrittäminen pienjännitepuolella

Kolmivaihejärjestelmän oikosulkuvirran laskemista ja vaikutuksia käsitellään standardeissa IEC-60909, 60909-1, 60909-2, 60781, 60865-1 ja 60865-2.

Oikosulkuvirta lasketaan oikosulkupisteen jännitteen ja vikapaikan impedanssin avulla.

3-vaiheinen oikosulkuvirta pienjännitepuolella lasketaan seuraavasti:

$$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \cdot Z_T}$$

jossa I_{sc} = 3-vaiheinen oikosulkuvirta pienjännite virtapiireissä, U_{20} = vaiheiden välinen jännite (400 V) ja Z_T = vikapaikan impedanssi.

(www.electrical-installation.org)

Oikosulkuvirtojen laskennasta löytyy lisätietoja esimerkiksi ABB:n TTT-käsikirjasta.

Suojalaitteen katkaisukyvyyn tulee olla suurempi kuin asennuspaikassa esiintyvän 3-vaiheisen oikosulkuvirran tehollisarvo. Jos katkaisukyky ei ole riittävä, on suojalaitteen syötönpuolella oltava riittävän katkaisukyvyyn omaava toinen suojalaite. Tällaisessa tapauksessa molempien suojalaitteiden ominaisuudet on sovittava yhteen. (SFS 6000 434.5.1)

5.2 Oikosulkuvirran vaikutukset

Oikosulkuvirtaa tarkastellessa laskennassa otetaan huomioon sekä tehollis- että huippuarvo. Kummankin arvon vaikutukset ovat erilaiset ja ne voidaan jakaa huippuarvon aiheuttamiin sähködynaamisiin vaikutuksiin ja tehollisarvon aiheuttamiin termisiin vaikutuksiin. (Schneider Electric, Discrimination with lv Power Circuit-Breaker 2001, 9.)

5.2.1 Sähködynaamiset vaikutukset

Oikosulun alkaessa sen vaikutukset ovat suurimmillaan. Tämä johtuu siitä, että oikosulkuvirta saavuttaa huippuarvonsa lähes välittömästi oikosulun sattuessa, minkä jälkeen sen vaikutukset vaimenevat oikosulun jatkuessa tasavirtakomponentin pienentyessä. Sähködynaamiset vaikutukset voidaan vielä jakaa mekaanisiin ja elektromagneettisiin vaikutuksiin.

Elektromagneettiset vaikutukset näkyvät muissa laitteissa. Oikosulkuvirran aiheuttama voimakkaampi sähkömagneettikenttä saattaa häiritä herkempiä mittalaitteita oikosulkupiirin alueella.

Mekaanisia vaikutuksia aiheuttavat sähködynaamiset voimat ilmentyvät välittömästi oikosulkuutilanteen alettua ja vaimenevat oikosulun jatkuessa tasavirtakomponentin pienentyessä. Tästä syystä suojalaitteiden sähködynaamisen kestävyysluokitus ilmoitetaan oikosulkuvirran huippuarvosta laskettuna.

$$I_{dyn} = I_p = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'$$

Jossa I_{dyn} = sähködynaaminen kestävyys (A), I_p = oikosulkuvirran huippuarvo (A), k = kappa-kerroin, I_k'' = alkuoikosulkuvirta.

Datalehdillä ilmoitetun arvon mahdollisesti ylittävät oikosulkuvirrat aiheuttavat pysyviä muutoksia katkaisijan rakenteeseen. Katkaisijassa syntyvä valokaari saattaa vaurioittaa katkaisijan virran katkaisun osia. (Schneider Electric, Discrimination with lv Power Circuit-Breaker 2001, 4.)

5.2.2 Termiset vaikutukset

Termiset vaikutukset eivät perustu oikosulun huippuarvoon, kuten sähködynaamiset vaikutukset. Virran tehollisarvo ja sen kesto ovat termisten vaikutusten aiheuttajat eli I^2t -arvo. Kaapelointien ja kiskostojen mitoituksen yhteydessä käytetään I^2t -arvoa, jolla valmistajat ilmoittavat termisen rasituksen maksimiarvon. Tavallisesti kaapeli valmistajat ilmoittavat johtimen suurimman termisen oikosulkuvirran arvon 1 s:n arvona. I^2t -arvoa kutsutaan myös joule-integraaliksi.

$$I^2 \cdot t = \int_0^t I^2 dt$$

jossa I = virran tehollisarvo r.m.s. (A), t = oikosulun kesto aika (s)

6 KATKAISIJA

Katkaisija on mekaaninen katkaisulaite, jolla on mahdollista kytkeä tai katkaista virrat sähköverkon tavallisessa käytössä. Vikatilanteessa katkaisija kestää tietyn ajan vikavirtaa, jolloin selektiivisyys on säädeltävissä. Katkaisija katkaisee virrat suojattavalta osalta sähköverkkoa vikatilanteissa, kun suojaraleiden raja-arvot ylittyvät. (International Electrotechnical Commission, IEC-60947-2 2006, 12.)

Pienjännitekatkaisijoiden ja suurjännitekatkaisijoiden ero määritellään SFS 6000 standardikokoelmassa 1000 V AC ja 1500 V DC:nä. Kaikki sovellukset alle näiden arvojen ovat pienjännitesovelluksia.

Katkaisijoita käytetään myös usein piirin pääkytkimenä. Tällöin katkaisijaa kutsutaan pääkatkaisijaksi. Pääkatkaisijan on pystyttävä katkaisemaan piirin vikatilanne ja pysymään eristettynä vian katkaisun jälkeen. 4-napaisissa katkaisijoissa on mahdollisuus katkaista myös nollajohdin.

6.1 Katkaisija tyypit

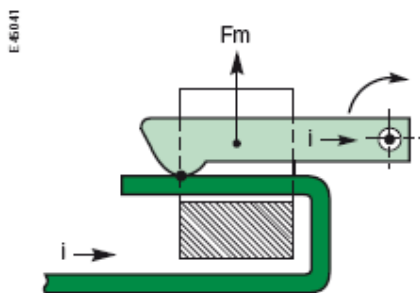
Katkaisijoiden yleisimmät rakennetyypit ovat kompakti- ja ilmakatkaisija. Kompaktikatkaisija (kuvio 4) on katkaisija, jonka kotelo on valettu ja eristeaineinen, muodostaen kiinteän osan katkaisijan rakennetta. Ilmakatkaisijassa pääkoskettimet ovat vapaassa normaalin ilmanpaineen tilassa. Yleisesti ottaen ilmakatkaisijat ovat metallirunkoisia ja kiinni- auki toiminnot suoritetaan jousivoimalla. Hieman harvinaisempia termejä ovat tyhjiö- sekä kaasukatkaisija, joissa pääkoskettimet sijaitsevat joko tyhjiössä tai eristekaasun sisällä. Nämä kaksi viimeisintä tyyppiä ovat käytössä yli 1000 V:n sovelluksissa. (ST-kortti 53.45 2004, 5.)



Kuvio 4. Kompaktikatkaisija (ST-kortti 53.45 2004, 7).

6.2 Katkaisijan mekaaninen toiminta

Kuvio 5 kuvaa katkaisijan mekaanista toimintaa. Katkaisijan vikavirtojen katkaisussa hyödynnetään sähködynaamisia voimia. Virrat, jotka kulkevat eri suuntiin katkaisijan katkaisuosien kohdalla aiheutuvat voimavaikutukset toisiaan vastaan eli hylkimisreaktion, jolloin vastakkaiset voimavaikutukset työntävät koskettimet erilleen aiheuttaen nopean katkaisun.



Kuvio 5. Katkaisijan tapa hyödyntää oikosulun aiheuttamat sähködynaamiset vaikutukset. (Schneider Electric, Coordination of lv Protection Devices 2008, 6.)

6.3 Katkaisijoihin liittyvät virtatermit

Virtatermit, joita käytetään katkaisijoita käsittelevissä standardeissa sekä tässä työssä katkaisijoiden yhteydessä, ovat standardoitu SFS-EN 60947-1,-2 ja IEC 60947-2 standardeissa.

Nimellisvirta I_n tarkoittaa tässä työssä komponenttien läpi kulkevaa suurinta sallittua jatkuvaa virtaa. Nimellisvirta I_n on virran arvo, joka voi kulkea komponentin läpi jatkuvasti aiheuttamatta liikaa lämpenemistä. (IEC-60947-2)

Muita virtatermejä, jotka ovat olennaisia katkaisijoita käsiteltäessä:

- I_{cu} Katkaisijan rungon suurin oikosulun katkaisukykyvirta
- I_{cs} käytönaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukykyvirta
- I_{cm} nimellinen sulkemiskykyvirta
- I_{cw} suurin sallittu tehollinen oikosulkuvirta

6.4 Katkaisukykyvirrat

”SFS 6000-5-533.3 määrittelee, että suojalaite valitaan oikosulun nimellisen mitoituskatkaisukyky arvon (I_{cu}) mukaan, mutta liittymispisteessä ja muualla käyttötarkoituksen mukaan käytetään käytönaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukyky-arvoa (I_{cs}). Yksinkertainen jako on siten, että ilmakatkaisijat valitaan I_{cs} –arvon ja kompaktikatkaisijat I_{cu} –arvon mukaan.” (ST- kortti 53.45 2004, 5.) Tässä työssä käsiteltyjä kompaktikatkaisijoita suositellaan valitsemaan oikosulun nimellisen katkaisukyky arvon (I_{cs}) perusteella.

Katkaisijoille ilmoitetaan kolme eri katkaisukykyyn liittyvää virran arvoa, jotka ovat standardisoitu (IEC 60947-2):

- katkaisijan rungon suurin oikosulun katkaisukykyvirta I_{cu} , the rated ultimate short-circuit breaking capacity
- käyttönaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukykyvirta I_{cs} , the rated service short-circuit breaking capacity
- oikosulun sulkemiskykyvirta I_{cm} (kytkentäkyky-arvo) , the rated short circuit breaking capacity

IEC 60947-2 edellyttää komponenttien valmistajien ilmoittamaan datalehdillä I_{cu} , I_{cs} , ja I_{cm} -arvot. Virtojen arvot ilmoitetaan katkaisijoiden nimellisjännitteiden ja taajuuksien arvoilla.

6.4.1 Katkaisijan rungon suurin oikosulun katkaisukykyvirta I_{cu}

Katkaisijan rungon suurin katkaisukykyvirta I_{cu} ilmaisee suurinta oikosulkuvirran tehollisarvoa, jonka katkaisija pystyy katkaisemaan turvallisesti. Katkaisijan rungon mekaaninen toiminta katkaisee virran, mikäli virta nousee yli katkaisijan rungon suurimman katkaisukykyyn.

Rungon koon kirjaimen muuttuessa katkaisija kestää suurempia oikosulkuvirtoja. Taulukossa 2 on esitetty ABB:n Tmax T5 runkokokojen kirjaimet. Kirjaintunnukset vaihtelevat katkaisijan valmistajien mukaan ja esimerkiksi Schneiderilla kirjaintunnukset ovat B, F, N, H, S ja L.

Taulukko 2. Katkaisijan Tmax T5 runkokoot.

Runko koot	N	S	H	L	V
Äärimmäinen katkaisukyky I_{cu} (kA)	70	85	100	200	200

Tässä työssä esimerkkinä ollut katkaisija oli Tmax T5 S 630 A, jolloin nimellisvirta on 630 A ja äärimmäinen katkaisukykyvirta I_{cu} on 85 kA.

Komponenttien valmistajat on ohjeistettu määrittämään katkaisijalle I_{cu} :n arvon kestävyysseuraavanlaisen testisyklin avulla:

avaus – tauko – sulkeminen ja avaaminen

Vaatimuksena on, että oikosulun jälkeen kiinteistön sähköverkon on oltava täysin eristetty. Katkaisijan ei tarvitse olla enää toimintakykyinen. I_{cu} :n tarkoitus on taata henkilöturvallisuus. (IEC-60947-2 2006, 19-20.)

6.4.2 Käytönaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukykyvirta I_{cs}

I_{cs} ilmaisee suurinta oikosulkuvirran arvoa, jonka suoja pystyy katkaisemaan vikaantumatta. I_{cs} :n arvo määräytyy nimellisjännitteen U_e :n mukaan.

IEC:n vaatima testisykli katkaisijalle on seuraavanlainen:

avaus – tauko – sulku ja avaus – tauko – sulku ja avaus

Oikosulun jälkeen katkaisijan vaaditaan kestävänsä nimellisvirran katkaiseminen 25 – 75 kertaa. Nimellisvirran katkaisujen määrä määräytyy nimellisvirran suuruudesta. (IEC-60947-2 2006, 19-20.)

Komponenttien valmistajat ilmoittavat I_{cs} :n laskemalla sen I_{cu} :n arvosta IEC 60947-2 taulukon 1 prosenttien mukaisesti pyöristäen lähimpään kokonaislukuun.

Vaihtoehtoinen merkintätapa on ilmoittaa I_{cs} suoraan IEC 60947-2 taulukon 1 prosentteina I_{cu} :n arvosta. (IEC-60947-2 2006, 19-20.) Kuviosta 6 selviää miten valmistaja ABB ilmoittaa arvot taulukoissaan.

		Tmax T5				
Keskeytymätön nimellisvirta, Iu	[A]	400/630				
Navat	[Nr]	3/4				
Nimellinen käyttöjännite, Ue	(AC) 50-60 Hz [V]	690				
	(DC) [V]	750				
Nimellinen syöksyjännitelujuus, Uimp	[kV]	8				
Nimellinen eristysjännite, Ui	[V]	1000				
Testijännite teollisella taajuuudella 1 minuutin ajan	[V]	3500				
Äärimmäinen oikosulun nimelliskatkaisukyky, Icu		N	S	H	L	V
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]	70	85	100	200	200
(AC) 50-60 Hz 380/415 V	[kA]	36	50	70	120	200
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]	30	40	65	100	180
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]	25	30	50	85	150
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]	20	25	40	70	80
(DC) 250 V - kaksinapainen sarjakytKentä	[kA]	36	50	70	100	150
(DC) 250 V - kolminapainen sarjakytKentä	[kA]	-	-	-	-	-
(DC) 500 V - kaksinapainen sarjakytKentä	[kA]	25	36	50	70	100
(DC) 500 V - kolminapainen sarjakytKentä	[kA]	-	-	-	-	-
(DC) 750 V - kolminapainen sarjakytKentä	[kA]	16	25	36	50	70
Käyttöaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukyky, Ics						
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[%Icu]	100%	100%	100%	100%	100%
(AC) 50-60 Hz 380/415 V	[%Icu]	100%	100%	100%	100%	100%
(AC) 50-60 Hz 440 V	[%Icu]	100%	100%	100%	100%	100%
(AC) 50-60 Hz 500 V	[%Icu]	100%	100%	100%	100% ⁽¹⁾	100% ⁽²⁾
(AC) 50-60 Hz 690 V	[%Icu]	100%	100%	100% ⁽¹⁾	100% ⁽²⁾	100% ⁽²⁾
Nimellinen sulkemiskyky, Icm						
(AC) 50-60 Hz 220/230 V	[kA]	154	187	220	440	660
(AC) 50-60 Hz 380/415 V	[kA]	75,6	105	154	264	440
(AC) 50-60 Hz 440 V	[kA]	63	84	143	220	396
(AC) 50-60 Hz 500 V	[kA]	52,5	63	105	187	330
(AC) 50-60 Hz 690 V	[kA]	40	52,5	84	154	176
Avautumisaika (415 V)	[ms]	6	6	6	6	6
Käyttöluokka (IEC 60947-2)		B (400 A) ⁽³⁾ - A (630 A)				
Referenssisstandardi		IEC 60947-2				
Eristystoiminto		■				
Suojareleet: termomagneettinen						
kiinteä, M kiinteä	TMF	-				
T säädettävä, M kiinteä	TMD	-				
T säädettävä, M säädettävä (5...10 x In)	TMA	■ (enintään 600 A)				
T säädettävä, M kiinteä (3 x In)	TMG	-				
T säädettävä, M säädettävä (2.5...5 x In)	TMG	■ (enintään 500 A)				
vain magneettinen	MA	-				
elektroninen	PR221DS	■				
	PR222DS	■				

Kuvio 6: ABB Tmax 5:n taulukkoarvot (ABB, Tmax Pienjännitekatkaisijat, 5)

6.4.3 Nimellinen sulkemiskykyvirta I_{cm}

Nimellinen sulkemiskykyvirta I_{cm} ilmaisee katkaisijan kykyä kestää oikosulkuvirran huippuarvon aiheuttamaa mekaanista rasitusta. IEC 60947-2:n mukaan se lasketaan katkaisijan katkaisukyvyistä kertoimella, joka riippuu oikosulkuvirran suuruudesta. Kertoimen arvo on välillä $1,5 \dots 2,2 \cdot I_{cu}$.

Taulukossa 3 on kertoimet, joiden avulla kytkentäkyky arvo I_{cm} saadaan laskettua. Valmistajat tosin ilmoittavat tämän arvon myös datalehdillä. (ST-kortti 53.45 2004, 5.)

Taulukko 3. Kerroin n , jolla saadaan I_{cm} laskettua

Oikosulun nimelliskatkaisukyky	Teho kerroin	kerroin n $n = \text{oikosulun sulkemiskyky} / \text{oikosulun katkaisukyky}$
$4,5 \leq I \leq 6$	0,7	1,5
$6 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2,0
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

6.4.4 Suurin sallittu tehollinen oikosulkuvirta I_{cw}

Suurin sallittu tehollinen oikosulkuvirta I_{cw} ilmaisee tietyn ajanhetken katkaisijan läpi kulkevaa suurinta sallittua tehollista oikosulkuvirtaa kA :na, joka ei aiheuta katkaisijan ominaisuuksien muuttumista (Schneider Electric, Discrimination with lv Power Circuit-Breaker 2001, 9). I_{cw} :n arvo ilmoitetaan datalehdillä aina keski- ja suurjännitekatkaisijoille ja osalle suurimmista pienjännitekatkaisijoista. I_{cw} :lle annetaan eri oikosulkuvirran arvo eri aikakestoisuuksilla.

I_{cw} :lle standardissa IEC 60947-2 annetut aikakestoisuudet ovat 0,5, 1 ja 3 sekuntia. Aikakestoisuudella tarkoitetaan tarkoitetaan sitä, että katkaisija kestää tiettyä oikosulkuvirtaa tietyn ajan hajoamatta. Aikakestoisuus on määritelty katkaisija

standardissa IEC 60947-2. I_{cw} :n arvo lasketaan tehollisvirran keskiarvosta ilmoitetulla aikavälillä ja keskiarvon takia se tarkentuu, kun tarkasteltavaa aikaväliä kasvatetaan yhdestä sekunnista kolmeen sekuntiin. Esimerkiksi I_{cw} :n arvo 3 sekunnin tarkkuudella ilmoitettuna antaa 9 kertaa tarkemman termisenrasituksen arvon, kuin vastaava I_{cw} :n 1 sekunnin arvo. Arvon tarkentuminen johtuu tasavirta-komponentin pienentymisestä oikosulun jatkuessa ja tehollisvirran keskiarvon pienenemisestä (Schneider Electric, Discrimination with lv power circuit-breaker, 2001, 9.)

Mitä suurempi I_{cw} arvo on, sitä monipuolisemmat selektiivisyyden ominaisuudet katkaisijalla on.

6.5 Sovelluskohteet

Kompaktikatkaisijoita käytetään teollisuuden ja julkisen sektorin sähkökeskuksissa, joiden virta-alue on 100–630 A. Pienjännitekatkaisijoita käytetään tasa- ja vaihtovirtakojeistoissa, moottorien suojakytkiminä generaattoreissa, kondensaattoreissa (kompensointilaitteet) ja asuinkiinteistöissä.

Katkaisijoita käytetään yleensä verkon pääkatkaisijana niiden uudelleen käytettävyyden sekä luotettavuuden takia. Vaativissa kohteissa katkaisijan käyttö korostuu koska katkaisija voidaan kytkeä nopeasti uudestaan päälle, kunhan piirin vika on korjattu. Katkaisijaa käytetään katkaisemaan verkon tiettyjä osia oikosulkutilanteissa, varavoiman kytkemisessä sekä verkon rajauksessa. Verkon rajausta käytetään, koska varavoimakoneet ovat yleensä mitoitettu pitämään vain kriittiset laitteet ja toiminnot yllä. Tällöin katkaisijalla voidaan erottaa osa verkosta irti.

Katkaisijan käyttö asuinkiinteistöjen pääkytkimen sijasta pääkatkaisijana ei ole perusteltua katkaisijoiden hinnan takia, eikä myöskään siksi, että asuinkiinteistöjen sähköverkko on suhteellisen yksinkertainen.

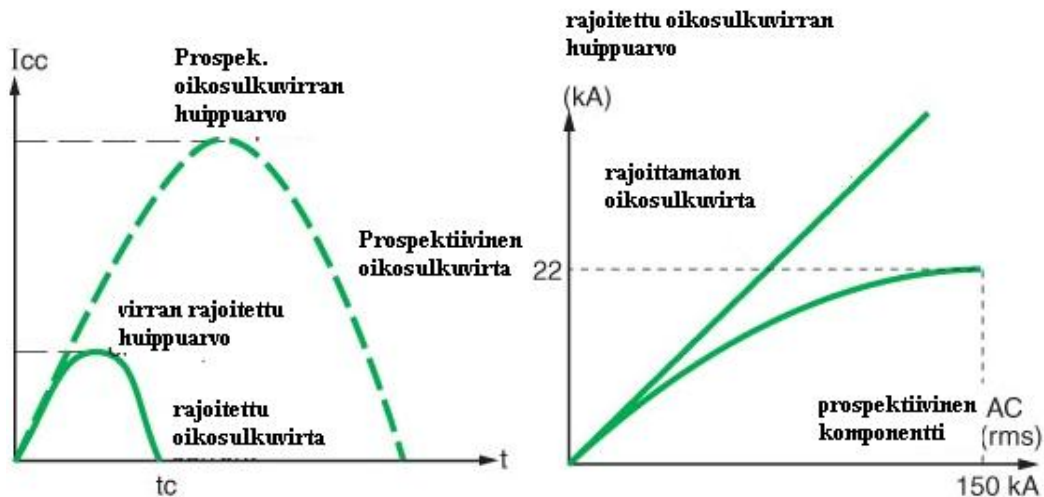
Suurten kiinteistöjen pääkeskuksissa tulisi ensisijaisesti käyttää ilmakatkaisijoita ja sulakkeita sillä ne rajoittavat virtaa enemmän kuin kompaktikatkaisijat. Pääkeskustasolla tapahtuvan oikosulun huippuarvo on hyvä saada rajoitettua, jolloin

pääkeskuksen jälkeiset suojat sekä laitteisto saavat osakseen paljon pienemmän oikosulkuvirran huippuarvon vaikutuksen. Nousukeskuksissa ja ryhmäkeskuksissa voidaan käyttää kompaktikatkaisijoita, sulakkeita sekä johdonsuojakatkaisijoita.

6.6 Katkaisijan virran- ja energianrajoitus

”Virranrajoitus tarkoittaa, että suojalaite toimii niin nopeasti (3-10 ms), että se ”leikkaa” sekä virran huippuarvoa että läpimenoenergiaa” (ST-kortisto, ST-kortti 53.45 2004, 12). Jotta katkaisija on virtaa rajoittava, sen täytyy katkaista oikosulku, puolen tai alle puolen ensimmäisen jakson aikana (kuvio 7).

Katkaisijan virranrajoitus vaikuttaa vasta, kun oikosulkuvirta on katkaisijan virranrajoitusalueella. Virranrajoitusalue on yleensä n. 10–15 kertaa suoja-alueen välittömän katkaisun asennusarvo I_i . (ABB, Current limiting MCCB's 2009, 3.) Kun oikosulkuvirran arvo nousee virranrajoitusalueelle, katkaisija katkaisee virran alle 10 ms:ssa.



Kuvio 7. Katkaisijan virran rajoitus.

Suurilla oikosulkuvirroilla sulakkeen virranrajoitus on tehokkaampi kuin katkaisijoilla 500 ja 690 V:n käyttöjännitteillä.

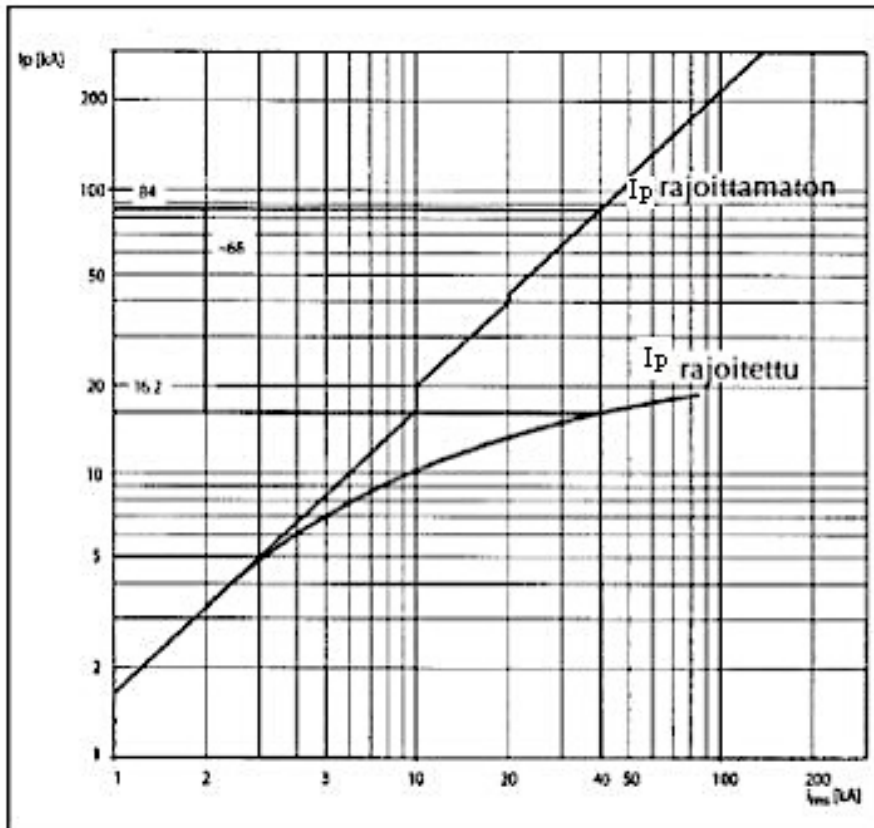
Taulukossa 3 katkaisijan virranrajoitus korostuu, kun oikosulkuvirta kasvaa. Oikosulkuvirran huippuarvon ollessa 20 kA katkaisija rajoittaa oikosulkuvirran huippuarvon 16 kA:n katkaistessaan oikosulkuvirran. ABB:n Tmax 5 katkaisija rajoittaa oikosulkuvirtaa ja läpi pääsevää energiaa seuraavasti, taulukko 4.

Taulukko 4. Katkaisijan rajoitus arvot. (ABB Current Limiting MCCB's 2009, 6.)

Oikosulkuvirta Ik	10 kA	Rajoitettu läpi	Rajoitettu
Oikosulkuvirran Huippuarvo $I_p \approx$ Käyttöjännite U_e	20 kA	pääsevä energia ($I^2t[10^6 A^2s]$)	oikosulkuvirran huippuarvo (I_p kA)
	480 V		
Käyttöjännite U_e		1,30	16
	600 V		
		1,00	16
Oikosulkuvirta Ik	50 kA	Rajoitettu läpi	Rajoitettu
Oikosulkuvirran Huippuarvo $I_p \approx$ Käyttöjännite U_e	100 kA	pääsevä energia ($I^2t[10^6 A^2s]$)	oikosulkuvirran huippuarvo (I_p kA)
	480 V		
Käyttöjännite U_e		2,40	41
	600 V		
		2,70	36
Oikosulkuvirta Ik	100 kA	Rajoitettu läpi	Rajoitettu
Oikosulkuvirran Huippuarvo $I_p \approx$ Käyttöjännite U_e	200 kA	pääsevä energia ($I^2t[10^6 A^2s]$)	oikosulkuvirran huippuarvo (I_p kA)
	480 V		
Käyttöjännite U_e		2,40	48
	600 V		
		3,00	43

Virranrajoitus käyrästöt alkavat yleisesti vasta 10 kA kohdalta (kuvio 8), sillä katkaisija ei rajoita virtaa oikosulkuvirran ollessa alle 10 kA.

Kuviossa 8, alempi viiva $I_{p \text{ rajoitettu}}$ on rajoitettu oikosulkuvirran huippuarvoa, minkä katkaisija päästää lävitseen. Ylempi viiva $I_{p \text{ rajoittamaton}}$ rajoittamatonta oikosulkuvirran huippuarvoa.



Kuvio 8. Katkaisijan virranrajoitus käyrä. (ST-kortti 53.45, 12)

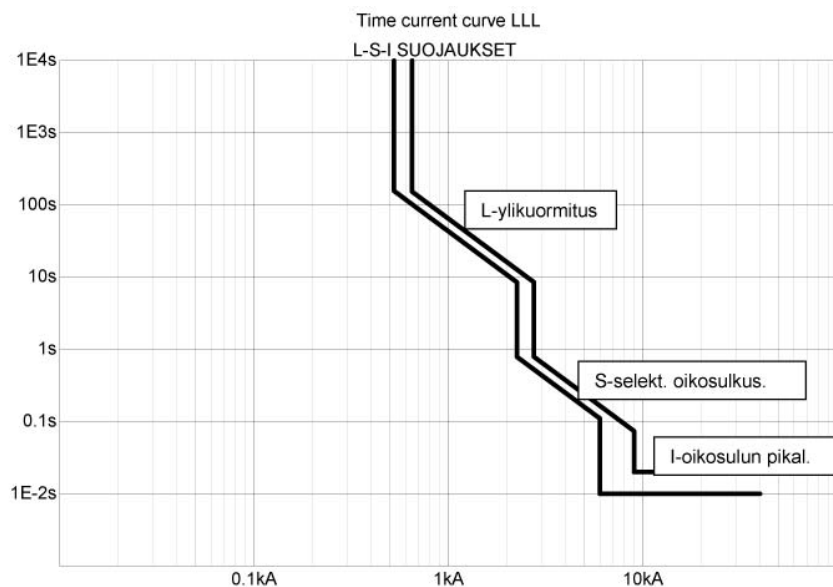
Energianrajoituksessa, katkaisijan ja sulakkeen nimellisvirran ollessa sama, katkaisija päästää enemmän energiaa lävitseen kuin sulake. Katkaisijan jälkeiset suojat on mitoitettava siten, että ne kestävät sen energiamäärän mitä katkaisija päästää läpi.

6.7 Pienjännitekatkaisijan suojaukset

ABB:n Tmax T5 pienjännitekatkaisija, joka on varustettu suojarielellä PR221DS LS/I:llä toteuttaa seuraavat sähköverkon suojaukset:

- ylikuormitus suojaus L
- selektiivinen oikosulkusuojaus S
- oikosulun pikalaukaisu suojaus I

Toiminta-aikakäyrästä (kuvio 9) nähdään, kuinka monta sekuntia eri suuruiset vikavirrat voivat vaikuttaa ennen, kuin katkaisija katkaisee virran.



Kuvio 9. Pienjännitekatkaisijan suojarieleen suojausten termit. (ST-53.45 2004, 6.)


Suojarieleessä olisi hyvä olla ylikuormitussuoja virta- ja aika-asetteluineen, hidastettava oikosulkusuoja, jossa virta- ja aika ovat aseteltavissa sekä mahdollisuus käänteisaikaisten käyrien käyttöön vakioaikaisen lisäksi. Kolmantena ominaisuutena tulisi vielä olla hidastamaton oikosulkusuoja virta-asettelulla ja mahdollisuus ottaa tämä ominaisuus pois käytöstä. (ST-kortti 53.13 2008, 2-5.)

6.7.1 Ylikuormitussuojaus L

Käytettäessä ylikuormitussuojaukseen katkaisijaa, jossa toimintarajavirran voi asetella, tulee releasettelu olla enintään johdon kuormitettavuuden suuruinen (I_z). (D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2009, 129.)

Ylikuormitussuojauksen asetteluarvo ABB:n Tmax T5 katkaisijalla, jossa elektroninen suojarile PR221DS, voidaan asetella välille $0,4 \dots 1 \times I_n$. Tätä asettelua kutsutaan laukaisuvirraksi I_l .

Ylikuormitusvirran katkaisu katkaisijalla tapahtuu ylikuormitusvirran ollessa $1,1 \dots 1,3 \times I_l$ (kuvio 10). Ylikuormitus täytyy saada katkaistua ennen kuin se aiheuttaa liiallista lämpenemistä johdoissa. Katkaisijan ylikuormitussuojan katkaisuaika on käänteisesti verrannollinen virran neliöön, mitä kutsutaan käänteisaika katkaisuksi. (Schneider Electric, Discrimination with lv Power Circuit-Breaker 2001, 4.)

Suojaustoiminnot ⁽¹⁾	Laukaisuvirta	Laukaisukäyrät
 Ylikuormitussuojaus pitkällä käänteisaikahidastuksella ja standardia IEC 60947-2 noudattavat käänteisaika-ominaiskäyrästä mukaiset laukaisuominaisuudet ($I^2t = k$)	$I_l = 0,40 - 1 \times I_n$ pienin muutos = $0,04 \times I_n$ Laukaisu välillä $1,1 \dots 1,30 \times I_l$ (T4, T5, T6) Laukaisu välillä $1,05 \dots 1,30 \times I_l$ (T2)	kun $6 \times I_l$ $t_l = 3-6$ (vain T2) - 12s (vain T4, T5, T6) Toleranssi: $\pm 10\%$ enintään $6 \times I_n$ (T4, T5, T6) $\pm 10\%$ enintään $2 \times I_n$ (T2) $\pm 20\%$ yli $6 \times I_n$ (T4, T5, T6) $\pm 20\%$ yli $2 \times I_n$ (T2)



Kuvio 10. Ylikuormitussuojan asettelut ABB:n Tmax T5 katkaisijalla jossa suojarile PR221DS LS/I. (ABB, Tmax pienjännitekatkaisijat, 15)

Käänteisaikaylivirtareleen toimintahidastus on virtaan nähden käänteinen eli rele laukaisee suurivirtaiset viat nopeammin kuin pienivirtaiset. Käänteisaikaylivirtareleen toiminta tulee esiin aiemmin esitellystä kuviosta 8, jossa katkaisijan katkaisukäyrä on aleneva eli suurivirtaiset viat katkaistaan nopeammin kuin pienivirtaiset viat. Käänteisvaikutus voidaan valita valmiilta standardikäyryiltä. Käänteisaikaylivirtareleen asettelu arvot ovat pienjännitepuolella yleisesti 3 s tai 12 s.

6.7.2 Oikosulkusuojaus S/I

Katkaisijan oikosulkusuojaaja käytetään katkaisemaan piirin oikosulkuvirta ennen kuin se aiheuttaa vaaraa, joka johtuu johtimien ja liitosten lämpötilasta ja mekaanisista vaikutuksista. Katkaisijoilla virran katkaisu tapahtuu eritavoilla riippuen oikosulkuvirran suuruudesta. Katkaisijan oikosulkuvirtojen katkaisumenetelmät ovat oikosulkuvirran katkaisu oikosulkusuojaareleella ja katkaisijan rungon aiheuttama pikalaukaisu.

Katkaisijan oikosulkusuojaarele katkaisee oikosulkuvirran, kun oikosulkuvirran arvo on 3...25-kertaa katkaisijan nimellisvirran arvon suuruinen. Joillakin suojaareleilla on mahdollista säätää oikosulkusuojauksen laukaisu-arvoa. Esimerkiksi pienjännitekatkaisijalla Tmax T5 S 630 A, joka on varustettu suojaareleella PR221DS LS/I oikosulkusuojauksen laukaisurajavirtaa voidaan säätää välillä $1 \dots 10 \times I_n$ (kuvio 11).

	Oikosulkusuojaus käänteis-aikahidastuksella ja käänteisajan mukaiset laukaisuominaisuudet ($I_2t = k$) (valittavissa vaihtoehtona I-suojaustoiminnoille)	$I_2 = 1-1,5-2-2,5-3-3,5-4,5-5,5-6,5-7-7,5-8-8,5-9-10 \times I_n^{(2)}$ Toleranssi: $\pm 10\%$ (T4, T5, T6) $\pm 10\%$ enintään $2 \times I_n$ (T2) $\pm 20\%$ yli $2 \times I_n$ (T2)	at $8 \times I_n$ $t_2 = 0,1 - 0,25s$ Toleranssi: $\pm 10\%$ enintään $6 \times I_n$ (T4, T5, T6) $\pm 20\%$ yli $6 \times I_n$ (T4, T5, T6) $\pm 20\%$ (T2)
	Oikosulkusuojaus pikalaukaisulla (valittavissa vaihtoehtona S-suojaustoiminnoille)	$I_3 = 1-1,5-2-2,5-3-3,5-4,5-5,5-6,5-7-7,5-8-8,5-9-10 \times I_n^{(3)}$ Toleranssi: $\pm 10\%$ (T4, T5, T6) $\pm 20\%$ (T2)	pikalaukaisu

⁽²⁾ T4 $I_n = 320$ A, T5 $I_n = 630$ A ja T6 $I_n = 1000$ A $\Rightarrow I_{2,max} = 9,5 \times I_n$,
 $I_{3,max} = 9,5 \times I_n$.
 Asetus $10 \times I_n$ vastaa arvoa $9,5 \times I_n$.

Kuvio 11. Oikosulkusuojauksen asettelut ABB:n Tmax T5 katkaisijalla jossa suojaarele PR221DS LS/I. (ABB, Tmax pienjännitekatkaisijat, 15)

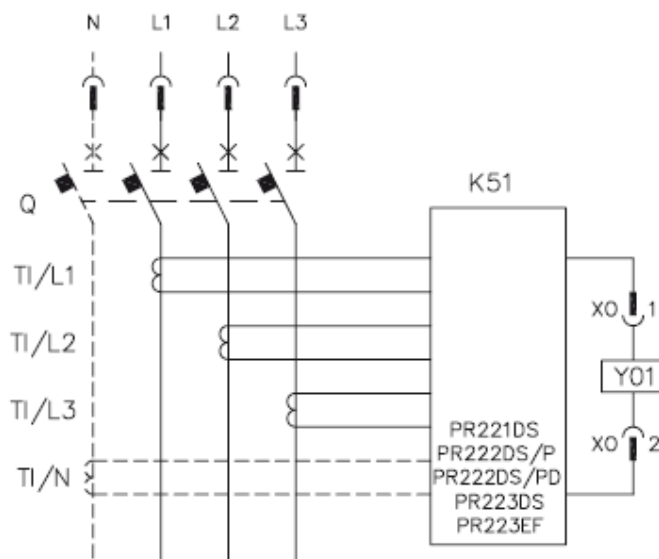
Oikosulkusuojauksen laukaisu-arvot voivat vaihdella $\pm 10\%$, kun katkaisijan oikosulkusuojaajan pikalaukaisijan toimintarajavirta I_m on $< 6 \times I_n$ ja $\pm 20\%$, kun $I_m > 6 \times I_n$. Toleranssit ovat määritelty standardissa IEC-60947-2. Katkaisijan on toimittava ja suojauksen oltava taattu näiden arvojen ylittyessä.

Katkaisijan rungon aiheuttama pikalaukaisu tapahtuu oikosulkuvirran ylittäessä katkaisijan nimellisvirran 25-kertaisesti, jolloin mekaaninen katkaisu tapahtuu oikosulkuvirrasta johtuvien dynaamisten vaikutusten johdosta. Tätä arvoa ei pysty muuttamaan, vaan se on sidottuna katkaisijan runkoon.

6.8 Nollajohtimen suojaus

Monissa katkaisijoissa on myös nollajohtimen suojaus (kuvio 12). Katkaisija ”haistelee” koko ajan myös nollajohtimen (N) virran suuruutta. Katkaisijoissa suojan voi kytkeä päälle/pois sekä valita kuinka paljon virtaa saa kulkea nollajohtimessa ennen kuin katkaisija katkaisee virtapiirin.

Tässä työssä käsitellyssä katkaisijassa ABB Tmax T5:n suojarieleessä PR221DS on mahdollista asettaa nollajohtimen suojauksen arvot 50 % tai 100 % $\times I_n$. Muissa suojarieleissä on mahdollista asettaa myös 150 % I_n arvosta.



Kuvio 12. Katkaisijan kytkentä kaavio, 4/3-napainen suojariele PR221DS.

6.9 Katkaisija kaapelin ylikuormitussuojana

Ylikuormitussuojan täytyy aina täyttää SFS 6000-5-52 liite 52 B:n ehdot 1 ja 2:

$$\text{Ehto 1 } I_b \leq I_n \leq I_z.$$

$$\text{Ehto 2 } I_2 < 1,45 \cdot I_z.$$

I_b = Virtapiirin mitoitusvirta

I_z = Johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_n = Suojalaitteen mitoitusvirta tai suojalaitteen asetusarvo

I_2 = Suojalaitteen toimintarajavirta, virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. Virran I_2 arvo, jolla suojalaite toimii tehokkaasti on annettu laitestandardissa tai se saadaan valmistajalta.

Katkaisijoiden toimintarajavirta I_2

$$I_2 = 1,30 \cdot I_n$$

$$1,30 \cdot I_n < 1,45 \cdot I_z$$

(IEC 60947-2 2007, 29)

jolloin

$$I_z > \frac{1,30 \cdot I_n}{1,45}$$

Säädettävällä releellä varustetussa katkaisijassa suojalaitteen mitoitusvirta I_n on releen säätöarvo. Tällöin on huomattava, että ylikuormitussuojareleen maksimiasetusarvo voi olla suurempi kuin I_z ja on varmistuttava siitä, ettei kukaan asiaton pääse muuttamaan releen asettelu arvoja liian suureksi. (ST-kortti 53.45 2004,)

Kaapelin kuormitettavuus voidaan selvittää laskemalla, jolloin siinä huomioidaan seuraavat tekijät: kaapelin poikkipinta, johdinmateriaali, eristeen materiaali, asennustapa, ympäristön lämpötila sekä vierekkäiset kaapelit. Kaapelin

kuormitettavuus määrää ylikuormitussuojan toimintarajavirrat. Kaapelin kuormitettavuuden määrittelyyn on taulukoita SFS 6000 standardikokoelmassa.

6.10 Kaapelin oikosulkusuojaus

”Missä tahansa virtapiirin kohdassa esiintyvät oikosulkuvirrat on katkaistava viimeistään silloin, kun johtimet saavuttavat suurimman sallitun rajalämpötilan. Enintään 5 s kestävässä oikosuluissa voidaan seuraavasta kaavasta laskea aika t , jonka kuluessa johtimen lämpötila nousee sallittuun rajalämpötilaan. Johtimen oletetaan olevan normaalissa suurimmassa sallitussa käyttölämpötilassa ennen oikosulkua.” (SFS 6000 2007, 434.5.2)

$$\sqrt{t} = k \cdot \frac{S}{I}$$

jossa t = kesto aika sekunteina, S = johtimien poikkipinta (mm^2), I = tehollinen oikosulkuvirta (A) tehollisarvona (r.m.s.) sekä k = kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin resistiivisyyden.

Kertoimen k :n arvot löytyvät standardi kokoelmasta SFS 6000 kohdasta 434.5.2 taulukosta 43A.

Katkaisijan asennuspaikan eli suojattavan kaapelin alkupään suurimman oikosulkuvirran lisäksi on selvitettävä suojattavan kaapelin loppupäässä esiintyvän pienimmän 1-vaiheisen oikosulkuvirran arvo, joko laskemalla tai mittaamalla. Molempia arvoja tarvitaan, jotta kaapelin oikosulkusuojausta katkaisijalla voidaan tarkastella luotettavasti. (ST-kortti 53.45 2004, 7.)

Katkaisijoilla verrataan pienintä yksivaiheista oikosulkuvirran arvoa katkaisijoiden pikalaukaisun (I) toimintarajavirtaan. Laite standardi sallii pikalaukaisijalle 20 %:n vaihtelu välin. (ST-kortti 53.45 2004, 9.)

Tästä saadaan

$$I_m < 0,8 \cdot I_{k \min}$$

I_m = katkaisijan pikalaukaisijan toimintarajavirta (kiinteä tai säädetty arvo),

$I_{k \min}$ = Kaapelin pienin 1-vaiheinen oikosulkuvirta.

Kun yllä oleva ehto täyttyy, katkaisija toimii <100 ms:ssa, ellei laukaisuaikaa ole katkaisijan releessä erikseen säädetty hitaammaksi. (ST-kortti 53.45 2004, 9.)

Nelijohdinkaapelin minimioikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla
(ST-kortti 53.45 2004, 9)

$$I_{k \min} = \frac{0,8 \cdot U \cdot k_1 \cdot k_2}{1,5 \cdot r \cdot (1 + m) \cdot \frac{L}{S}}$$

jossa U = vaihejännite (230 V), r = johtimen resistiivisyys Ω/mm^2 (160 °C),

$Cu = 0,027 \Omega/\text{mm}^2$ ja $Al = 0,042 \Omega/\text{mm}^2$, L = johtimen pituus (m), S = johtimen poikkipinta (mm^2).

k_1 ottaa huomioon reaktanssin määräytyen seuraavasti

$S(\text{mm}^2)$	<120	120	150	180	240	300
k_1	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,72

k_2 määräytyy seuraavasti:

Johdinta/vaihe	1	2	3	4	5
k_2	1	2	2,7	3	3,2

m = N-johtimen ja vaihejohtimen resistiivisyyksien suhde. Jos ne ovat samaa materiaalia, on suhde sama kuin poikkipintojen suhde.

(ST-kortti 53.45 2004, 9.)

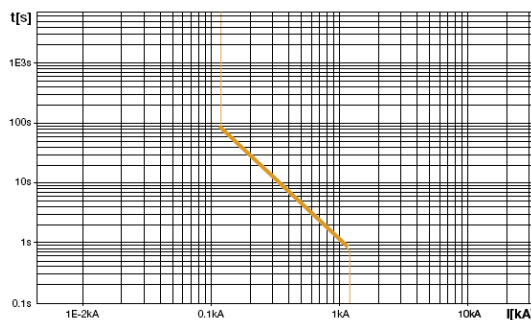
6.11 Suojareleiden asettelu

Katkaisijan suojareleiden asettelu sekä toiminta-aikakäyrien vertailu tulisi tehdä jo suunnittelu vaiheessa. Katkaisijaa asennettaessa asentajan on helppo tehdä asetukset oikein, kun asetukset ovat laskettu ja tarkasteltu jo ”toimistolla”.

Katkaisijan suojareleen asetusten asettelun jälkeen on hyvä liimata tarra katkaisijan kuoreen, mistä selviää milloin ja kuka asetukset on asettanut. Tarrasta tulee selvittää myös asetetut asetteluarvot, jotta arvot voidaan tarkastaa. Tarran tarkoituksena on antaa tieto siitä, että asetukset ovat varmasti aseteltu, eikä katkaisija ole vain tehdasasetuksilla. Käytännössä tapahtuu usein niin, että katkaisija asennetaan ja jätetään oletusasetuksille.

6.11.1 Ylikuormitussuojaus (L)

Ylikuormitussuojan toiminta-aikakäyrästä (kuvio 13) nähdään ylikuormitussuojan toiminta. Katkaisija, joka on varustettu suojareleellä PR221DS LS/I katkaisee pienivirtaiset ylikuormitukset hitaammin kuin suurivirtaiset ylikuormitukset.



Kuvio 13. Ylikuormituksen (L) toiminta-aikakäyrä ABB Tmax sarjalle.

(ABB Working with the trip characteristics curves of ABB SACE low voltage circuit-breaker)

Katkaisijan ylikuormitussuojareleen asetteluarvo (L) lasketaan kaavasta

$$Asetus_L = \frac{I_b}{I_n}$$

jossa I_b = virtapiirin mitoitusvirta (A), I_n = suojalaitteen mitoitusvirta (A).

Suojareleen asettelu tulee tehdä aina kaavasta laskettuun arvoon tai seuraavaan suurempaan arvoon. Ylikuormitusasettelu voidaan valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella.

6.11.2 Selektiivinen oikosulkusuojaus (S)

Selektiivisen oikosulkusuojauksen asetteluarvon (S) saa laskettua kaavasta

$$Asetus_S = \frac{I_{k\min}}{I_n}$$

jossa $I_{k,\min}$ = asennuspaikan pienin oikosulkuvirta (A), I_n = suojalaitteen mitoitusvirta (A).

Oikosulun katkaisuarvoa voidaan muuttaa $1 \dots 10 \times I_n$. Jotta oikosulkusuojaus on oikein säädetty, täytyy suojareleen asetusarvo S asettaa kaavasta saadun tuloksen lähimpään alempaan arvoon ja vertailla toiminta-aikakäyriä toisten suojalaitteiden osalta.

Selektiivisen oikosulkusuojareleen katkaisuaika termi on t_2 . Selektiivisellä oikosulkusuoja releellä katkaisuajalle on aikavaihtoehdot 0,1 s ja 0,25 s. Tämä asettelu määrää sen, kuinka nopeasti katkaisija katkaisee vikapiirin. Katkaisuaikaa t_2 muuttamalla saadaan oikosulkusuojausta aikaselektiivisemmäksi jos suojien katkaisukäyrät ovat lähekkäin.

Katkaisijan rungon aiheuttama pikalaukaisu, jonka arvoa ei voi muuttaa, tapahtuu kun oikosulkuvirran arvo ylittää 25 x katkaisijan nimellisvirran. Oikosulkuvirran arvon ollessa 10...25 x katkaisijan nimellisvirta, katkaisijan oikosulkusuojauksen asettelua ei voi muuttaa. Tällöin oikosulkuvirran katkaisu tapahtuu alle 0,1 s:ssä.

6.11.3 Säädetty oikosulun pikalaukaisu (I)

Säädetty oikosulun pikalaukaisun asettelu arvon (I) saa laskettua kaavasta

$$A_{setus_I} = \frac{I_{k\ min}}{I_n}$$

jossa $I_{k\ min}$ = asennuspaikan pienin oikosulkuvirta (A), I_n = suojalaitteen mitoitusvirta (A).

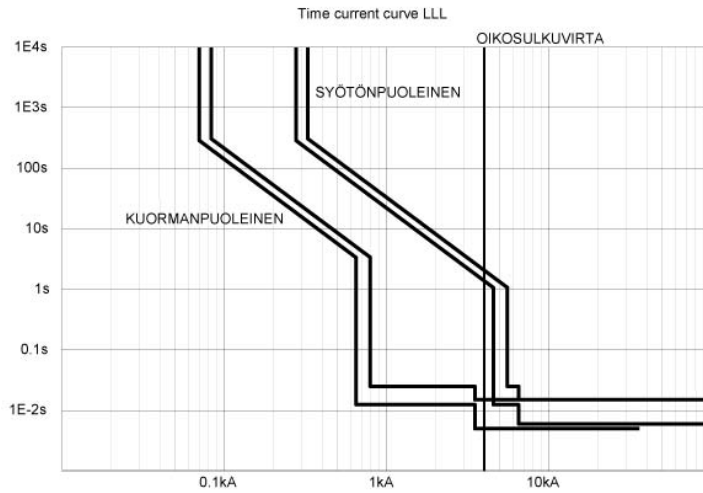
Tällä säädöllä saadaan oikosulku laukaistua nopeammin ja sitä käytetään yleensä jos selektiivisyys sallii nopeamman laukaisun eikä tarvitse aikahidastusta oikosulun katkaisussa.

6.12 Katkaisija ja selektiivisyys

6.12.1 Virtaselektiivisyys

”Mitä lähempänä syöttöä vika on, sitä suurempi vikavirta. Toisaalta kaukana syötöstä vikavirta jää pieneksi. Tätä ilmiötä voidaan hyödyntää selektiivisyyden saavuttamisessa asettelemalla edeltävä suoja riittävän epäherkäksi.” (ST-kortti 53.13 2008, 2-3).

Virtaselektiivisyys tarkoittaa sitä, että hyödynnetään sähköverkon oikosulkuvirtoja, jotka ovat erisuuruisia sähköverkon eri osissa. Selektiivisyys on aina voimassa oikosulkuvirroilla, jotka ovat pienempiä kuin syötön puoleisen katkaisijan pikalaukaisijan havahtumisarvo (kuvio 14). (ST-kortti 53.45 2004, 12)

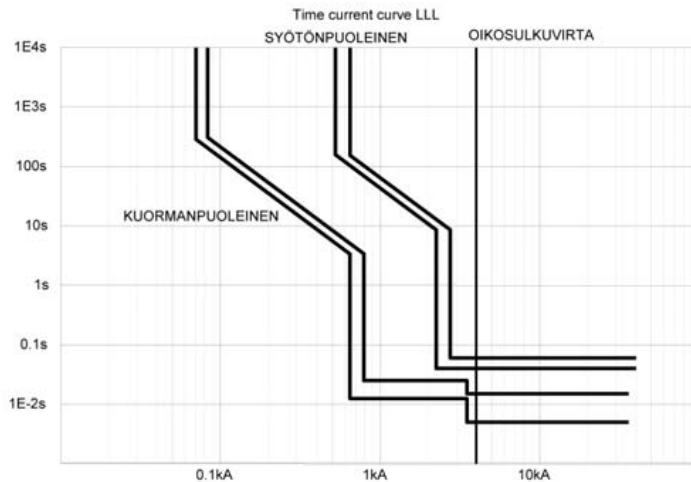


Kuvio 14. Virtaselektiivisyys (ST-kortti 53.45, 12)

6.12.2 Aikaselektiivisyys

Aikaselektiivisyys saavutetaan hidastamalla syötönpuoleisen katkaisijan laukaisuaikaa kuorman puoleiseen katkaisijaan nähden. Toiminta-aikaero takaa selektiivisen toiminnan (kuvio 15) . Toiminta-aikaero saadaan aikaan katkaisijoiden releasettelulla.

Aikaselektiivisyys on varmin ja helpoin tapa selektiivisyyden saavuttamiseksi, mutta useiden suojien sarjankytkennässä aseteltavissa olevan ajan rajallisuus loppuu usein kesken. Tällöin samalle toiminta-ajalle voidaan asettaa peräkkäisiä suojia selektiivisyyden siitä kärsimättä, kunhan vikavirtatasot ovat riittävän tarkasti tiedossa.



Kuvio 15. Aikaselektiivisyys (ST-kortti 53.45, 12)

Koska vikavirran suuruutta ei pystytä ennakoita määräämään, niin sarjassa olevien suojeiden toiminta-aikojen on oltava koko vikavirta-alueeltaan riittävästi erisuuret.

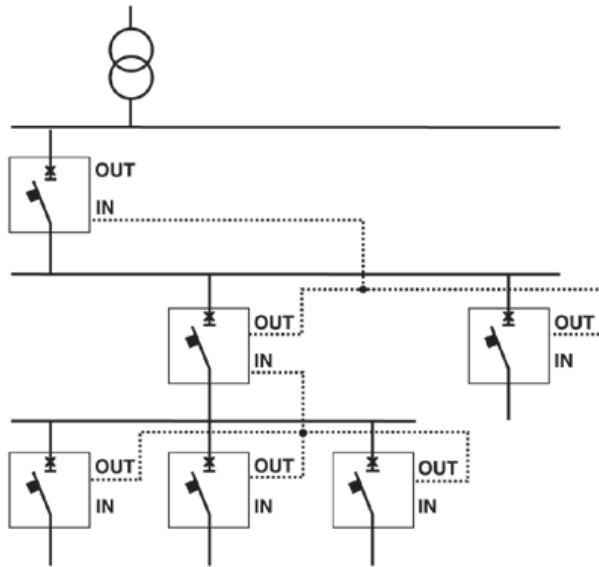
Aikaselektiivisyyteen liittyvät myös käsitteet vakioaikainen ja käänteisaikainen toiminta. Käänteisaikaisella toiminnalla tarkoitetaan sitä, että mitä suurempi vikavirta, sitä lyhyempi toiminta-aika. Toiminta muistuttaa perinteisen sulakkeen sulamiskäyrää. Vakioaikaisessa toiminnassa vikavirran suuruus ei vaikuta toiminta-aikaan. Tietyn virran kynnysarvon jälkeen suojan toiminta-aika on vakio.

Pienillä ja keskisuurilla virroilla toiminta on käänteisaikaista, mutta noin 5 kA:n jälkeen toiminta on vakioaikaista ja virran kasvu ei enää vaikuta toiminta-aikaan. (ST-kortti 53.13 2008, 2.)

6.12.3 Vyöhykeselektiivisyys / lukitussuojaus

Vyöhykeselektiivisyys / lukitussuojaus perustuu syötönpuoleisen katkaisijan suojausalueen lukitukseen siksi aikaa, kunnes kuorman puoleinen katkaisija toimii. Tämä on käytössä lähinnä keskijännitteellä ja sitä suuremmilla jännitetasoilla.

Lukituksilla yleisesti on tarkoitus parantaa selektiivisyyttä siten, että peräkkäisistä katkaisijoista laukeaa lähinnä vikapaikkaa oleva (kuvio 16). Lukituksia käyttäessä katkaisijaportaiden välille ei tarvitse järjestää normaalin aikaselektiivisyyden tapaan niin paljon toiminta-aikaeroa.



Kuvio 16. Vyöhykeselektiivisyys (ST-kortti 53.45, 13)

”Lukitussuojaus toimii siten, että vikavirran kulkiessa jonkin katkaisijan lävitse kyseinen katkaisija lähettää jakelussa heti ylempänä olevalle katkaisijalle lukituskomennon pysyä kiinni tai hidastaa sen toimintaa ja avautua itse suojareleensä ohjaamana. Lukitusketju jatkuu vastaavalla tavalla ylöspäin aina pääkeskuksen pääkatkaisijaan (verkon rakenteesta riippuen)” (ST-kortti 53.13, 3).

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2n}}$$

jossa S_n = muuntajan nimellisteho, U_{2n} = toision nimellisjännite (pääjännite)
(ST-kortti 53.24 2008, 5)

Muuntajan nimellisvirran I_n :n avulla voidaan laskea muuntajan oikosulkuvirta I_k

$$I_k = \left(\frac{I_n}{U_{\%k}} \right) \cdot 100$$

jossa $U_{\%k}$ = oikosulkujänniteprosentti. (ST-kortti 53.24 2008, 5)

Näistä kaavoista saadaan muuntajalle seuraavat arvot:

$$I_n = \frac{315 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} \approx 455 \text{ A}$$

Muuntajan nimellisvirran I_n :n avulla voidaan laskea muuntajan oikosulkuvirta I_k

$$I_k = \left(\frac{455 \text{ A}}{4,5} \right) \cdot 100 \approx 10,1 \text{ kA}$$

7.1 Katkaisijan tehtävä sovellusesimerkissä

”Jos katkaisija asennetaan kaapeleiden loppupäähän kiinteistön pääkytkimeksi, se ei toimi kaapeleiden oikosulku- ja ylikuormitussuojana” (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto, asennussuositukses 2002). Tällöin katkaisijan tehtävä esimerkisovelluksessa on katkaista pääkeskuksella syntyvä suurin oikosulkuvirta, eli 3-vaiheinen oikosulkuvirta.

Katkaisijan nimellisvirran valinta tapahtuu virtapiirin mitoitusvirran perusteella.

Virtapiirin mitoitusvirta ei saa olla katkaisijan nimellisvirtaa suurempi. Tässä vaiheessa

tarkastelua oletetaan, että $I_b \leq I_n$, jolloin mitoitusvirta voidaan olettaa olevan enintään 630 A.

Katkaisijan asennuspaikan suurimman oikosulkuvirran mitoitus alkaa tehonsyöttösuunnasta eli muuntajalta. Edellä lasketun muuntajan oikosulkuvirran I_k :n avulla lasketaan muuntajan oikosulkuimpedanssi Z_v seuraavasta kaavasta:

$$Z_v = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 10,1 \text{ kA}} \approx 22 \text{ m}\Omega$$

Kaapelin impedanssin sekä pääkeskuksen pienimmän oikosulkuvirran $I_{k \min}$ laskemiseen käytettiin valmista oikosulkuvirtojen laskentaan tarkoitettua Excel- taulukkoa (liite 2), josta on kerätty tarvittavat tiedot alla olevaan taulukkoon 6. Laskentataulukossa (liite 2) huomioidaan syöttökaapelin sekä muuntajan resistanssi ja reaktanssi impedanssia laskettaessa.

Taulukko 6. Esimerkkisovelluksen kaapelin impedanssit sekä keskuksen oikosulkuvirta.

Muuntajan oikosulkuvirta I_k	10,103 kA
Muuntajan Impedanssi Z_v	0,022 ohm
Kaapelin 2xAMCMK 4x240+72 impedanssi $Z_{vkaapeli1}$	0,029 ohm
Oikosulkuvirtaa rajoittava impedanssi PK:lla	0,044 ohm
Pienin oikosulkuvirta I_{kmin} PK:lla	4,9 kA

Katkaisijan asennuspaikalla esiintyvä suurin oikosulkuvirta on 3-vaiheinen oikosulkuvirta ja se lasketaan kaavalla

$$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \cdot Z_T} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 44 \text{ m}\Omega} \approx 5,25 \text{ kA}$$

jossa U_{20} = pääjännite 400 V ja Z_T = vikapaikan impedanssi

Katkaisija Tmax T5 S 630 kestää tämän oikosulun ja pystyy katkaisemaan sen vahingoittumatta. Tällöin katkaisijan mitoitus on oikein.

$I_n = 630 \text{ A}$	Katkaisijan nimellisvirta
$I_{cu} = 50 \text{ kA (380/415 V)}$	Katkaisijan äärimmäinen katkaisukyky
$I_{cm} = 105 \text{ kA (380/415 V)}$	Katkaisijan oikosulkuvirran huippuarvon kestävyys

7.2 Katkaisijan suojarleen asetusarvot sovellusesimerkissä

Ylikuormitussuojareleen asetteluarvot tulee asetella tässä sovellusesimerkissä seuraavaan arvoon

$$Asetus L_{ylikuormitus} = \frac{I_b}{I_n} = \frac{630 \text{ A}}{630 \text{ A}} = 1$$

$$Ylikuormitusvirta = I_1 = I_n \cdot 1 = 630 \text{ A} \cdot 1 = 630 \text{ A}$$

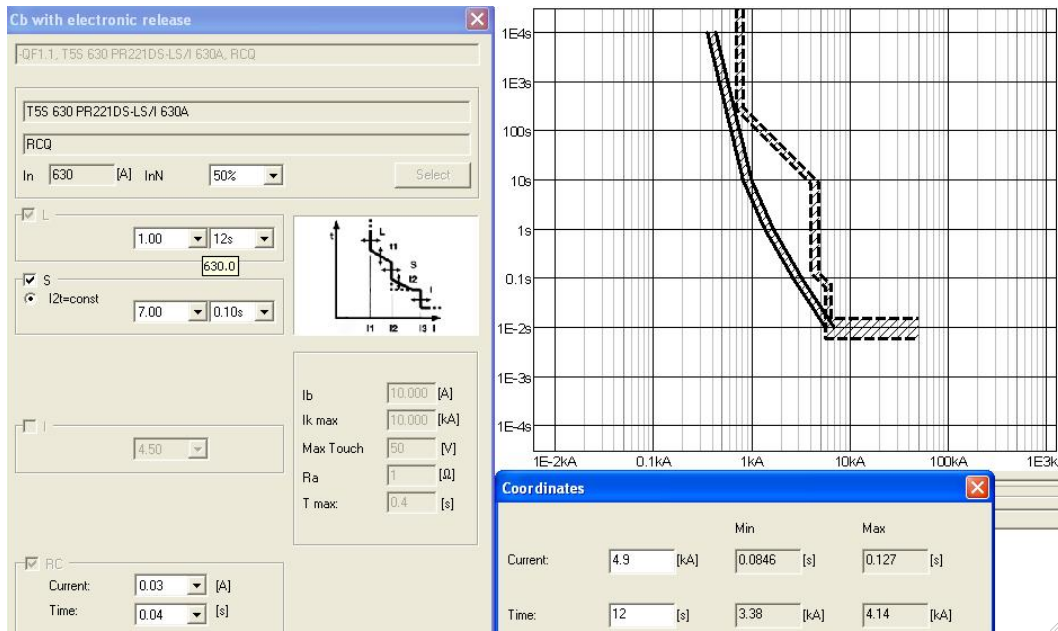
Asetusarvolla 1 varmistetaan, ettei ylikuormitussuojarele katko virtapiiriä, kun virtapiirissä kulkeva virta on alle katkaisijan nimellisvirran arvon.

Ylikuormitussuojalle voi valita suojarleessä PR221DS LS/I laukaisukäyrän t_1 joko 3 s:n tai 12 s:n viiveellä. Katkaisijan jälkeinen suoja 250 A:n sulake pakottaa käyttämään 12 s:n viivettä, jotta täysi selektiivisyys voidaan taata (kuvio 18). Kun valitaan 12 s:n viive ylivirtasuojaukseen, suojauksen laukaisuvirta on tällöin

$$t_1 = 12 \text{ s}$$

$$Laukaisuvirta = 6 \cdot I_1 = 6 \cdot 630 = A \approx 3780 \text{ A}$$

Laukaisukäyrällä ylikuormituksen kohdalla on toleranssi, jonka valmistaja ilmoittaa suojarleen datalehdellä ja se on $\pm 10 \%$. Tällöin ylikuormitussuojan suurin ylikuormitusvirta, jonka katkaisija katkaisee jo 12 s:n jälkeen on välillä 3,4 kA...4,15 kA (kuvio 18).



Kuvio 18. Suojareleen PR221DS LS/I:n ylikuormitussuojan asetukset. (DOCwin ohjelma)

Oikosulkusuojausta (S/I) asettaessa täytyy tarkastella ja vertailla toiminta-aikakäyriä, jotta saadaan mahdollisimman selektiivinen sähköverkon suojaus. Toiminta-aikakäyriä vertaillessa täytyy päättää, käytetäänkö oikosulkusuojauksessa selektiivistä oikosulkusuojausta (S), jossa viivästetty laukaisu vai oikosulkusuojausta (I), jossa pikalaukaisu. Käytettäessä oikosulkusuojausta (S), viivästetty laukaisu laukaisee oikosulun joko 0,1 s:n tai 0,25 s:n viiveellä. Käytettäessä oikosulkusuojausta (I), pikalaukaisu laukaisee oikosulun 6 ms:ssa. Sovellusesimerkissä kummankin oikosulkusuojan käyttö on mahdollista, tosin hieman eri asetuksilla.

Suojareleessä PR221DS oikosulkusuojaus (I) ei voi olla päällä samaan aikaan kuin aikaviivästetty oikosulkusuojaus (S). Oikosulkusuojauksen (I) asetusarvo saadaan samasta kaavasta kuin asetus S, mutta oikosulkusuojauksen (I) laukaisuaika on välitön (6 ms). Tässä sovelluksessa oikosulkusuojauksen viiveajalla ei ole väliä selektiivisyyden kannalta, sillä se ei vaikuta selektiivisyyteen.

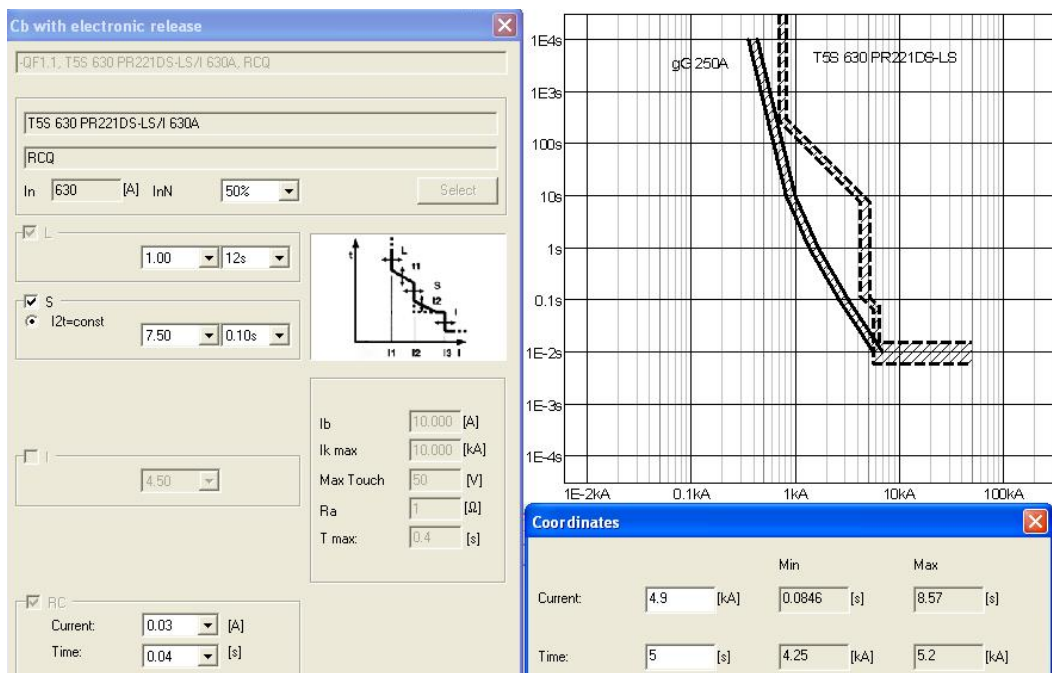
Oikosulkusuojareleen asetusarvo tulee asettaa siten, että asetusarvo on lähinnä pienintä oikosulkuvirtaa vastaavaa arvoa. Oikosulkusuojareleen asetusarvo määritetään seuraavalla tavalla

$$Asetus S_{Oikosulku} = \frac{I_{k \min}}{I_n} = \frac{4,9 \text{ kA}}{630 \text{ A}} = 7,9$$

Oikosulkusuojausajareleen asettelu tulee tehdä yllä olevasta kaavasta saadun arvon lähimpään alempaan arvoon eli 7,5:n, jolloin oikosulkusuojausajan laukaisu-arvo on

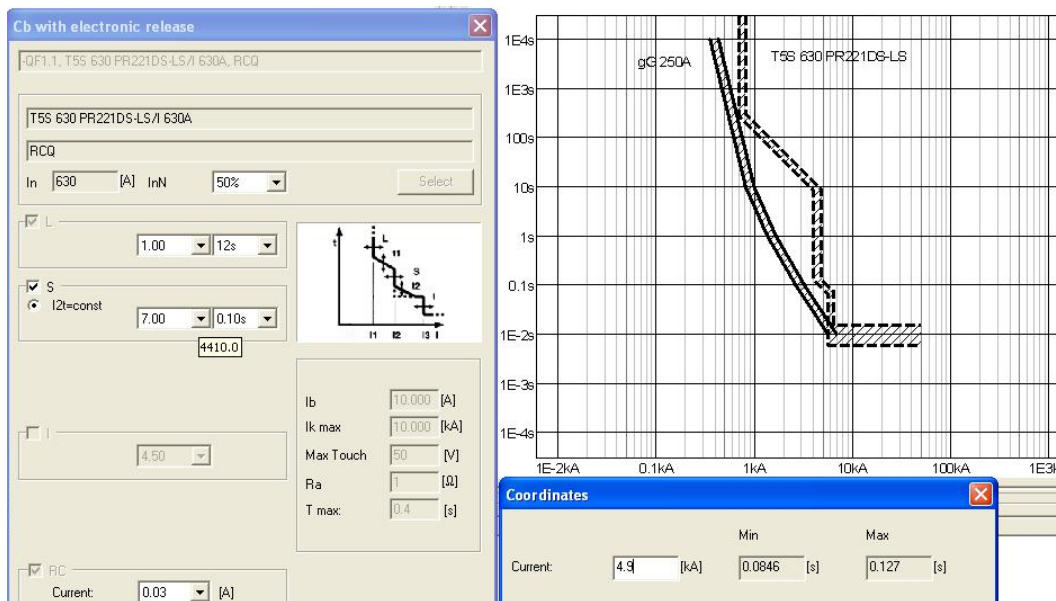
$$7,5 \cdot 630 \text{ A} = 4725 \text{ A}$$

Asetusarvolla 7,5 katkaisijalla kestäisi yli 8 s katkaista asennuspaikalla esiintyvä pienin oikosulkuvirta (kuvio 19).



Kuvio 19. Oikosulkusuojausajareleiden asetusarvot. (DOCwin ohjelma)

DOCwin ohjelmalla tarkasteltu toiminta-aikakäyrä osoittaa kuitenkin sen, että oikosulkusuojausajarele tulee asettaa arvoon 7:n, jotta pienimmän oikosulkuvirran katkaisu katkaisijan asennuspaikalla tapahtuu alle 0,2 s:n (kuvio 20).



Kuvio 20. Oikosulkusuojareleen asetusarvot oikein aseteltuna. (DOCwin ohjelma)

Katkaisijan toiminta-aika (0,2 s) täyttää myös automaattisen poiskytkennän vaatimukset. Tällöin pääkeskuksella, jota katkaisija suojaa, ei synny liian suuria kosketusjännitteitä. SFS 6000 standardikokoelma määrittelee katkaisijan asennuspaikalle 5 s:n toiminta-ajan pääjohtotasolla. (SFS 6000 411.3.2.3.)

8 HUOLTAMINEN

8.1 Katkaisijoiden huoltaminen

Katkaisijoiden käyttöikään vaikuttaa käyttöympäristön olosuhteet. Katkaisinvalmistaja Schneider Electronics määrittää katkaisijoilleen optimaaliseksi käyttöympäristön lämpötilaksi 25 °C, jolloin katkaisijan käyttöikä on noin 30 vuotta. Jo 10 °C asteen lämpötilan nousu vähentää katkaisijan käyttöikää kolmella vuodella. Tämä asia tulisi huomioida varsinkin varavoimakonteissa, joissa lämpötilat nousevat helposti korkeammaksi kuin edellä mainittu ihannelämpötila.

Käyttöiän lyheneminen johtuu pääsääntöisesti siitä, että ympäristölämpötilan nousu kasvattaa laitteen omaa lämpötilaa, joka taas puolestaan aiheuttaa katkaisijalle mekaanista rasitusta (lämpölaajenemista) sekä veden kondensoitumista.

ABB:n Tmax katkaisijoita ei huolleta, koska tämän kokoluokan katkaisijoille se ei ole taloudellista. Katkaisijat vaihdetaan niiden käyttöiän päätyttyä. Tmax katkaisijoille mekaaninen käyttöikä on 20000 toimintoa.

8.2 Toiminnan testaaminen

Toiminnan testaaminen tulisi tehdä tietyin määräajoin samoin kuin johdonsuoja-katkaisijoilla tehdään. ABB:n mukaan katkaisijoita tulisi testata 6 kk:n välein, jotta varmistutaan siitä, että katkaisija varmasti toimii eikä mekaaninen toiminta ole vioittunut. Pienjännitekatkaisijoilla mekaaninen katkaisu tulisi testata vähintään 2 vuoden välein, jotta voidaan varmistua katkaisijan toiminnasta. Testin tulisi olla auki – kiinni ohjaustesti.

9 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tehdä kirjallinen selvitys pienjännitekatkaisijoista ja niiden suojarleiden toiminnoista sekä asetteluista. Aiheen teoreettiset lähteet olivat lähinnä valmistajien englanninkielisiä lähteitä. Aineiston yhteen kokoaminen sekä suomentaminen vaati oman aikansa, mutta lopputuloksena syntyi lähdemateriaalikokoelma kiinnostavan aiheen kokoamiselle. Pienjännitekatkaisijoista ei löytynyt aiempaa päättötyötä, josta olisi selvinnyt niiden toiminta sekä suojarleiden asettelu.

Työn luotettavuus perustuu katkaisin valmistajan ABB:n sekä Schneider Electricsin lähteisiin, joten työn luotettavuus on alan yleinen luotettavuuden taso. Lisääarvoa työn sisältöön olisivat tuoneet suorat asiantuntijalausunnot katkaisinvalmistajalta, mutta esitettyihin yhteydenottopyyntöihin ei saatu vastausta.

Valitun aiheen tekee erityisen mielenkiintoiseksi se, että pienjännitekatkaisijoiden voidaan sanoa kuuluvan ns. “harmaalle alueelle”. Ne eivät selkeästi kuulu niin pien- kuin suurjännitepuolellekaan. Pienjännitepuolen sekä suurjännitepuolen ammattilaiset tietävät katkaisijoista vain niiden perustoiminnot, mutta keskusteltaessa pienjännitekatkaisijan suojarleiden asettelusta, moni totetaa “täytyy kääntyä katkaisinvalmistajan puoleen”. Tämä työ on yksi lähestymisväylä pienjännitekatkaisijoiden suojarleiden asetteluun.

Työ antaa hyvän kuvauksen katkaisijan toiminnasta, katkaisijan suojarleiden asetteluiden tärkeydestä, sekä asetteluiden laskenta- ja tarkastustavoista.

Tämän työn haastavimpia asioita oli selvittää eri virtojen termejä ja toimintoja, koska monissa lähteissä esiintyvät virrat ja toiminnot esiintyivät eri lähteissä eri nimillä.

Vaikka sähköalalla virtojen termit ovat standardoitu, moni sekoittaa terminologian.

Tämän asian selkeyttämisessä symboliluettelo auttaa asiaa.

Kehittämisehdotuksena on, että työn sisältämä tieto otettaisiin käyttöön katkaisijoiden asennustyössä. Käytännöstä saatu kokemusperäinen tieto voidaan välittää katkaisinvalmistajalle, joka sen pohjalta voi kehittää katkaisimien käyttöä ja niihin liittyvää käyttöohjeistusta.

LÄHTEET

ABB, Current limiting MCCB`s.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d342027bcb18bc9585257584006b2744/\\$File/1SXU210127G0201.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d342027bcb18bc9585257584006b2744/$File/1SXU210127G0201.pdf) [online] [viitattu 15.8.2010]

ABB, Tmax pienjännitekatkaisijat, pdf-dokumentti. Saatu Petri Rönholm, ABB.

ABB, TTT-käsikirja, luku 7 Oikosulkusuojaus s.197-204.

ABB, Working with the trip characteristic curves of ABB SACE Low voltage circuit-breakers.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/b69e45e03d614635c12573680054c2c1/\\$File/1SDC007400G0201.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/b69e45e03d614635c12573680054c2c1/$File/1SDC007400G0201.pdf) [online] [viitattu: 15.8.2010]

Electrical-installation.org –sähköasennusopas.

http://www.electrical-installation.org/wiki/3-phase_short-circuit_current_%28Isc%29_at_any_point_within_a_LV_installation [online] [viitattu 25.4.2011]

Huotari, Kari ja Partanen, Jarmo 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.

Schneider Electric, Compact NS s.22 <http://ecatalogue.schneider-electric.fi/GroupList.aspx?navid=24201&navoption=1> [online] [viitattu 15.8.2010]

Schneider Electric, Coordination of LV protection devices s.6

http://www.engineering.schneiderelectric.dk/Attachments/ed/guide/guide_coordination_of_lv_protection_devices.pdf [online] [Viitattu 15.8.2010]

Schneider Electric, Discrimination with lv power circuit-breaker s.9, s.5, s.4, s.11, 2001

http://www.engineering.schneiderelectric.dk/Attachments/ed/ct/power_discrimination.pdf [online] [viitattu: 15.8.2010]

SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Luku 4-432.3, Ylivirtasuojat, jotka suojaavat vain oikosulkuvirroilta, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS, 2007.

SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Luku 5-533.3, Oikosulkusuojien valinta, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS, 2007.

SFS 6002 Sähköturvallisuus. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2005.

SFS-EN 61140+A1 Suojaus sähköiskuilta. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2007.

ST- kortisto, ST- kortti 53.13 s. 2-5, Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys.

ST-kortisto, ST-kortti 53.24, Ohjeet kiinteistöjen johtojen mitoituksesta ja suojauksesta ≤ 1000 V, 2008.

ST- kortisto, ST- kortti 53.45 s. 3-5, 7, Sulakkeeton suojaus.

ST- kortisto, ST- kortti 53.45 s. 12, Sulakkeeton suojaus.

Standardi IEC-60781 Application guide for calculation of short-circuit currents in low-voltage radial systems, International electrotechnical commission, 1989.

Standardi IEC-60865 Short-circuit current. Calculation effects, International electrotechnical commission, 1994.

Standardi IEC-60909, -1, -2 Short-circuit currents in 3-phase a.c systems , International electrotechnical commission, 2010.

Standardi IEC-60947-2 s. 19-20, Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers, International electrotechnical commission, edition 4.0, 2006.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto, Asennussuositukset 2002

www.stul.fi/Download.ashx?id=3715&type=1 [online] [viitattu 12.5.2011]

Tiainen, Esa 2009. D1 käsikirja rakennusten sähköasennuksista s.71, 14. uudistettu painos, Espoo: Sähköinfo Oy.

SYMBOLILUETTELO

LIITE 1

I_{sc}	Prospektiivinen oikosulkuvirta, A
I_p	Oikosulkuvirran huippu arvo, A
I_k''	Alkuoikosulkuvirta, A
I_{cu}	Katkaisijanrungon suurin katkaisukyky, A
I_{cs}	Suurin oikosulkuvirran arvo jonka katkaisija pystyy katkaisemaan vikaantumatta, A
I_{cm}	Katkaisijan oikosulkuvirran huippuarvon kestävyys, A
I_{cw}	Suurin salittu tehollinenoikosulku virta, A
\hat{I}_s	ks. I_p
\hat{I}_c	Sulakkeen rajoittama oikosulkuvirran huippuarvo, A
I_n	Suojalaitteen mitoitusvirta, A
I_u	Katkaisijan nimellisvirta, A
I_r	Katkaisijan suoja-reen ylikuormitussuojan asetteluarvo, A
I_m/I_{sd}	Katkaisijan suoja-reen oikosulkusuojauksen asetteluarvo, A
I_i	Katkaisijan suoja-reen oikosulkusuojan pikalaukaisu arvo, A
I_{k3}''	Tässä työssä, kolmivaiheinen oikosulkuvirta, A
I_{k2}''	Tässä työssä, kaksivaiheinen oikosulkuvirta, A
$I_{k \min}$	Oikosulkuvirran minimi arvo, A
$I_{k \max}$	Oikosulkuvirran maksimi arvo, A
I_b	Virtapiirin mitoitusvirta, A
I_z	Johtimen jatkuva kuormitettavuus, A
I_2	Suojalaitteen toimintarajavirta, A
t_s	Sulakkeen sulakeliuksen sulamisaika, s
t_v	valokaari aika, s
t_t	Sulakkeen kokonais-toiminta aika, s

LASKENTATAULUKKO

LIITE 2

Machnesh HD Users:sarela:Documents:Loppuyö:Oikosulku_Aermitteenalennema_fml.xls\askenta
versio 9.11.2009

Oikosulkuvirran ja jännitteenalennan laskeminen
(Häviösarja 1, normaali häviöt)
Muuntajan valinta
Anna arvoja vain vaaleankeltaisella pohjalla oleviin soluihin.

Teho kVA	Rm [Ω]	Xm [Ω]	Rmo [Ω]	Xmo [Ω]	Oikos- virta [A]	Zm [Ω]	Valitse muuntaja	Muuntajan Zm [Ω]	Muuntajan Rm [Ω]	Muuntajan Xm [Ω]	Muuntajan Rmo [Ω]	Muuntajan Xmo [Ω]	Muuntajan oikosulku- virta [A]
16	0,34	0,2	0,014	0,013	854	0,26932	0	0,00000	0	0	0	0	
30	0,16	0,14	0,07	0,0093	1 421	0,16186	0	0,00000	0	0	0	0	
50	0,083	0,097	0,0087	0,098	2 028	0,11341	0	0,00000	0	0	0	0	
100	0,031	0,056	0,033	0,057	3 559	0,06462	0	0,00000	0	0	0	0	
200	0,011	0,03	0,12	0,031	7 103	0,03238	0	0,00000	0	0	0	0	
315	0,0065	0,021	0,007	0,022	10 290	0,02235	1	0,02235	0,0065	0,021	0,007	0,022	
500	0,0037	0,014	0,0041	0,014	15 845	0,01452	0	0,00000	0	0	0	0	
800	0,0018	0,0092	0,0021	0,0096	24 148	0,00952	0	0,00000	0	0	0	0	
1000	0,0015	0,0079	0,0018	0,0083	28 079	0,00819	0	0,00000	0	0	0	0	
1250	0,0011	0,0076	0,0014	0,0081	29 266	0,00786	0	0,00000	0	0	0	0	
1600	0,0008	0,006	0,0011	0,0064	37 103	0,00620	0	0,00000	0	0	0	0	
2000	0,0006	0,0048	0,0008	0,0052	46 202	0,00498	0	0,00000	0	0	0	0	
Summa								0,02235	0,0065	0,021	0,007	0,022	
Muuntaja								Zm [Ω]	Rm [Ω]	Xm [Ω]	Rmo [Ω]	Xmo [Ω]	Ik [A]

Kaapeleiden valinta

Kaapeli	Rv [Ω/km]	Ro [Ω/km]	Xv [Ω/km]	Xvo [Ω/km]	Xo [Ω/km]	Zj [Ω/km]	Anna pituus [m]	Kaapelin Zj [Ω]	Kaapelin Rv [Ω]	Kaapelin Xv [Ω]	Kaapelin Ro [Ω]	Kaapelin Xvo [Ω]	Kaapelin Xo [Ω]	Minimi oikosulku- virta [A]
AMCMK 3x185+57	0,2	0,32	0,072	0,072	0	0,52	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1 995
AMCMK 3x240+72	0,16	0,25	0,072	0,072	0	0,42	35	0,029	0,011	0,005	0,018	0,005	0,000	4 928
MCMK 3x95+50	0,23	0,39	0,074	0,074	0	0,62	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1 708
Summa								0,029	0,011	0,005	0,018	0,005	0,000	
Kaapeli								Zj [Ω]	Rv [Ω]	Xv [Ω]	Ro [Ω]	Xvo [Ω]	Xo [Ω]	

LASKETTUJA ARVOJA

oikosulkuvirran Ikmin suuruus on $0.95 \cdot 400 \text{ V} / (\underline{Z_m} + \underline{Z_L})$

Laskettu oikosulkuvirta =

4 928
cosφ=
arc cosφ=

A (+70 °C kuluttajajäsenus)
astetta

Laskettuja arvoja (t = +70 °C, U_o = 230 V):

$\underline{Z_m} + \underline{Z_j} =$	0,04434	Ω (silmuttaimped.)
$\underline{R_m} + \underline{R_v} =$	0,01750	Ω (vaihej.resist.)
$\underline{X_m} + \underline{X_v} =$	0,0260	Ω (vaihej.resist.)
$\underline{Z_k} =$	0,04434	Ω
$\underline{R_k} =$	0,03567	Ω
$\underline{X_k} =$	0,02633	Ω

Ik=	5187	A
Ip _r =	4173	A
Iq _r =	3080	A